

Interaktion in Ambient Intelligence

Konzeption eines intuitiven Assistenten zur ganzheitlichen und
konfliktfreien Interaktion in adaptiven Umgebungen

Vom Fachbereich Informatik
der Technischen Universität Darmstadt
genehmigte

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

von

Dipl.-Ing. (FH) Ali Asghar Nazari Shirehjini
geboren in Sari

Referenten der Arbeit:

Prof. Dr. techn Dieter W. Fellner, Technische Universität Darmstadt
Univ.-Prof. Mag. Dr. Alois Ferscha, Johannes Kepler Universität Linz

Tag der Einreichung: 02.09.2008

Tag der mündlichen Prüfung: 18.12.2008

D17

Darmstadt 2009

Zusammenfassung

Ambient Intelligence bezeichnet insbesondere ein neues Paradigma der Interaktion zwischen dem Menschen und seiner Alltagsumgebung. Betrachtet man AmI-Umgebungen näher, kann festgestellt werden, dass die Anzahl elektronischer Geräte und deren funktionaler Komplexität ständig wächst. Dabei ist der Nutzer mit der Bedienung und Kontrolle der Technik überfordert. Viele Geräte besitzen aufgrund der Miniaturisierung eine umständliche und eingeschränkte Bedienmöglichkeit. Dies stellt neben der wachsenden Komplexität ein weiteres Problem für die Mensch-Umgebungs-Interaktion dar. Die Akzeptanz der Technologie und damit der Erfolg des AmI-Paradigmas hängt wesentlich von einer intuitiven Interaktion ab. Damit der Nutzer sich nicht in Fülle der Technik hilflos verliert, werden intuitive Bedienungskonzepte benötigt. Deshalb fokussiert diese Arbeit auf den Forschungsbereich der Assistenz zur *ganzheitlichen* und konfliktfreien Interaktion in adaptiven Umgebungen.

Die Fragestellungen hierzu lauten zum einen, wie der Nutzer in solchen Umgebungen mit so einer großen Anzahl von komplexen Systemen interagieren wird. Zum anderen wie interagiert der Nutzer in einer unbekannten Umgebung mit einer Technik, welche wie „Strom, Wasser und Telefon“ allgegenwärtig ist und zugleich „unsichtbar im Hintergrund verschwindet“? Die wichtigste Fragestellung dieser Arbeit lautet jedoch wie der Nutzer Geräte manuell auswählen kann ohne technische Informationen über die Infrastruktur zu haben?

Vertiefend und im Zusammenhang mit der Behandlung der oben skizzierten Randbedingungen liefert diese Dissertation folgende wesentliche Beiträge zu den jeweiligen Gebieten:

Domainanalyse und Ontologien

- die Untersuchung und Modellierung von Präsentationsszenarien zur Gewinnung von wichtigen Erkenntnissen zur Ausformung eines Situations- und Umgebungsmodells
- die Einführung von Parametern für eine eindeutige Situationsbeschreibung; erstmalig auf einer semi-formalen Ebene und unabhängig von speziellen Sensoren und Erfassungstechnologien
- die Einführung eines neuen hierarchischen Aufgabenmodells sowie die Beschreibung von Beziehungen zwischen Aufgaben, Medien und Geräten

Kontextbewußtsein

- die Entwicklung einer Sensorik zur Kontexterfassung und die Schaffung eines Verfahrens zur verbesserten Ortung von mobilen Multimedia-Geräten
- Die Definition eines neuen Kontextmodells, welche die Umgebung und den Interaktionskontext beschreibt und erstmalig eine adaptive Navigation von dreidimensionalen Benutzungsschnittstellen in Abhängigkeit von den Kontextdimensionen Ort, Gerät, Medien und Aktivität ermöglicht.
- die Entwicklung eines verbesserten Verfahrens für ein ortsabhängiges Auffinden von Geräten (*Location-aware Device Discovery*)
- die Entwicklung eines verbesserten Simulations- und Entwicklungswerkzeuges für kontextabhängige Anwendungen

Mensch-Umgebungs-Interaktion

- Die Einführung eines neuen Klassifikationsmodells für Mensch-Umgebungs-Interaktion, welches eine weitergehende und detailliertere Betrachtung der Interaktion in sechs unterschiedlichen Dimensionen erlaubt.

- die erstmalige Entwicklung einer 3-D-basierten Benutzungsschnittstelle für Mensch-Umgebungs-Interaktion. Das Bedienungskonzept erlaubt erstmalig eine räumliche Adressierung von Geräten und bietet hierzu neuartige 3-D-Metaphern für die Steuerung der Umgebung an
- die Entwicklung eines neuen Verfahrens zur dynamischen und kontextsensitiven Adaptierung der Oberfläche und dessen Synchronisation mit der Umgebung
- die Einführung von neuen Metaphern und Mechanismen zur Lösung von Interaktionskonflikten und die erstmalige Anwendung auf die Mensch-Umgebungs-Interaktion

Eine der Hauptergebnisse dieser Arbeit ist die Einführung eines neuartigen, intuitiven und ganzheitlichen Bedienungskonzeptes. Die Anwendung von neuartigen 3-D-Metaphern lösen erstmalig die heutigen Probleme von manueller Geräteauswahl in unbekannten Umgebungen. Dadurch können Nutzer die Geräte basierend auf einer räumlichen Adressierung identifizieren und durch eine 3-D-Schnittstelle auswählen, statt diese wie bei existierenden Systemen über ihre technische Adressen zu selektieren. Die kontextabhängige Anpassung von 3-D-basierten Benutzungsschnittstellen erlaubt es dem Benutzer sich auch in dynamischen Umgebungen zu orientieren. Die 3-D-Darstellung fungiert als eine Systemrepräsentation (*system face*) für die AmI-Umgebungen. Es ermöglicht so dem Benutzer auf Anhieb den Funktionsumfang, die Funktionsweise und den aktuellen Zustand der Umgebung zu erfassen. Als eine weitere Innovation erlaubt das Bedienungskonzept dem Nutzer sowohl eine zielbasierte Steuerung von Geräte-Ensembles als auch eine rein-funktionsbasierte Steuerung von einzelnen Geräten seiner Umgebung vorzunehmen. Zwecks zielbasierter Steuerung werden neuartige, 3-D-basierte Metaphern eingeführt. Die Erweiterung von bekannten Desktopmetaphern – wie das *Drag&Drop* – auf physische Umgebungen schafft eine logische Verknüpfung zwischen den virtuellen Dokumentenablagen (*Repositories*) und der physischen Umgebung des Nutzers. So kann man mit einem einzigen Interaktionsschritt Dokumente und physische Geräte verbinden.

Erstmalig wird im Rahmen dieser Dissertation eine Konzeption und Umsetzung für die Koexistenz von mobilen Assistenten und adaptiven Multimedia-Umgebungen vorgestellt. Das innovative Bedienungskonzept kombiniert implizite und explizite Interaktionsformen. Darüber werden die Vorteile beider Interaktionsansätze kombiniert. Dadurch besitzt der Nutzer die Kontrolle über seine Umgebung und kann gleichzeitig auch die Vorteile einer Automatisierung nutzen. Zusätzlich wird eine Akzeptanz der Geräte und der intelligenten Umgebungen durch den Ansatz erreicht, dass der Benutzer mittels eines Assistenzsystems jederzeit in das Geschehen eingreifen kann und somit nicht das Gefühl hat, die Kontrolle über die Umgebung zu verlieren. Eventuell auftretende unerwünschte Automatismen, gegensätzliche Aktionen und Interaktionskonflikte können mittels graphischer Elemente erkannt und ausgeglichen werden. Hierzu werden neue Mechanismen und Metaphern wie *physical undo*, *device exclusion* oder *activity exclusion* eingeführt. Die Koexistenz von diesen beiden Paradigmen fehlte bislang. Die erstmalige Anwendung von solch einem hybriden System für Mensch-Umgebungs-Interaktion in adaptiven Medienräumen ist ein wesentlicher Beitrag dieser Arbeit.

Die Konzepte wurden anhand prototypischer Systeme validiert. Um die *Intuitivität* des Bedienungskonzeptes zu bewerten, werden im Rahmen von Feldversuchsstudien die Aufgabendurchführungszeiten, Fehlerraten, die Lernkurve des Nutzers sowie die Ergonomie gründlich analysiert und bewertet. Insgesamt bestätigten die qualitativen und quantitativen Untersuchungen die Annahme, dass die Benutzer durch eine integrierte Benutzungsschnittstelle bestehend aus 3-D-Visualisierung und WIMP-Elementen ihre typischen Aufgaben in adaptiven Arbeitsumgebungen wesentlich schneller und mit weniger Fehlern durchführen können als mit konventionellen Interaktionssystemen. Insbesondere trifft dies für die Verwendung räumlicher Adressierung von Geräten und der Raummetapher zu.

Abstract

Considering the vision of Ambient Intelligence (Aml) our everyday environment and its objects will be pervaded by sensing, computing and communication capabilities. A major characteristic of such environments is the increasing amount of intelligent devices and their complexity; Computers will be ubiquitous. As household appliances grow in complexity and sophistication, they become harder and harder to use, particularly because of their tiny display screens and limited keyboards.

At the same time devices will disappear into the background and will be invisible to the user. With the emergence of newly available technology, the challenge to maintain control increases, while the additional value decreases. After taking a closer look at Ambient Intelligence environments (Aml-E), there will come up the (general) question of how to build a more intuitive way for people to interact with such an environment.

This thesis discusses such challenges of interacting with complex, disappearing, and adaptive environments (e.g., such as Aml-E). It discusses existing research focusing on some important challenges of Human-Environment-Interaction. Based on this discussion, the present thesis shows major advantages and weaknesses of explicit interaction vs. implicit interaction. As a result it will motivate to follow a mixed-initiative approach to interact with Ambient Intelligence environments. In the main part of this thesis an interaction model is presented which is designed to overcome identified interaction challenges. Following on that model proof-of-concept implementations are presented. In final chapters of this work the author presents user evaluations to validate the developed interaction models.

The author argues that his approach increases user control over adaptive environments. This is achieved by using a mobile assistant which provides intuitive and explicit access to Aml-E thus allowing always the user to stay in control. Another benefit is that using intuitive metaphors and conflict management mechanisms, the user can define and restrict the behaviour of the implicit actions initiated by the Aml-E. This allows the user to avoid, stop, or undo inappropriate adaptivity which will increase the reliability of the overall system. Allowing the user to remain control and increasing the reliability of the Aml-E will increase trust in automated system thus motivating the user to accept and use the technology.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken ohne deren Unterstützung und Hilfe diese Arbeit nicht zustande gekommen wäre. Insbesondere möchte ich mich bei Prof. Feller bedanken. Dies nicht nur für die Übernahme des Referats, sondern insbesondere auch für seine konstruktiven Gespräche sowie seine Ratschläge zur einen signifikanten Verbesserung der abschließenden Kapitel meiner Dissertation. Herrn Prof. Ferscha danke ich für die Übernahme des Koreferats.

Herrn Prof. Dr. J. Encarnação danke ich für seine Ratschläge während der inhaltlichen Gliederung und Aufbau der Dissertation und auch dafür, dass er mich als FH-Absolvent unterstützt hat, um an der TU Darmstadt zu promovieren.

Herrn Dr. Reiner Wichert und Prof. Dr. Thomas Kirste danke ich für ihre konstruktiven Gespräche und wertvolle Unterstützung bei inhaltlicher Entwicklung der Arbeit.

Des Weiteren bedanke ich mich bei Jafar Movahedi, Eyüp Polat, Santiago Tainta Ausejo, Hannes Guddat, Adrian Reetz, Mehmet Cemil Kazanbas, Johann Degenhardt, Georgi Zhelezarov, Martin Zoller, Eugen Berlin, Mikel Guisasola, Isaac Gual, Noel Ortiz, Rodrigo Fernandez, Rubens Henrique Souza, Tiago Scalheiros, Arwiyanto Asrori, Ahmet Erdogan für ihre Unterstützung im Rahmen ihrer Diplom- und Seminararbeiten bzw. im Rahmen ihrer studentischen Tätigkeiten.

Vielen schulde ich Dank, die aber an dieser Stelle ungenannt blieben. Ihnen sage ich aus dem Herzen: Danke schön!

Einigen schulde ich sehr viel mehr als Dank, die ebenfalls ungenannt blieben. Ihnen sage ich: mir fehlen die nötigen Worte und Kraft entsprechend zu danken.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 1.1 | Motivation, Problemstellung und Fragestellung | 2 |
| 1.1.1 | Motivation | 3 |
| 1.1.2 | Welche Probleme gibt es bei der Interaktion mit AmI-Umgebungen? | 3 |
| 1.1.3 | Existierende Lösungsmöglichkeiten | 5 |
| 1.1.4 | Fehlende Koexistenz von expliziter und impliziter Interaktion | 8 |
| 1.1.5 | Probleme bei Interaktion in unbekannten Umgebungen | 9 |
| 1.1.6 | Fehlender Synchronisation der Benutzungsschnittstelle mit AmI-Umgebungen | 9 |
| 1.2 | Ziele der Arbeit | 10 |
| 1.3 | Zusammenfassung und Abgrenzung | 11 |
| 2 | Klassifikationsmodell für Mensch-Umgebungs-Interaktion | 16 |
| 2.1 | Interaktionsparadigmen für Ambient Intelligence | 16 |
| 2.1.1 | Explizite und implizite Interaktion sowie <i>Koexistenz</i> dieser Paradigmen | 16 |
| 2.1.2 | Zielbasiert und funktionsbasiert | 20 |
| 2.1.3 | Geräteorientiert oder dynamische Ensembles | 21 |
| 2.1.4 | Makros und dynamische Strategieplanung | 22 |
| 2.1.5 | Eingabemodalitäten | 22 |
| 2.1.6 | Geräte-, Medien- und Dienstezugriff | 23 |
| 2.2 | Zusammenfassung und Abgrenzung | 23 |
| 3 | Anforderungsanalyse | 26 |
| 3.1 | Allgemeine Anforderungen | 27 |
| 3.1.1 | Handhabung von Komplexität und kognitiver Überlastung | 29 |
| 3.1.2 | Handhabung der „Invisibility“ | 30 |
| 3.1.3 | Kontextabhängige Darstellung | 32 |
| 3.2 | Anforderungen an die Mensch-Umgebungs-Schnittstelle | 32 |
| 3.2.1 | Einsatz von persönlichen mobilen Steuerungsassistenzen | 33 |
| 3.2.2 | Intuitive Geräteauswahl in unbekannten Umgebungen | 35 |
| 3.2.3 | Affordances und Visibility | 38 |
| 3.2.4 | Koexistenz zwischen Steuerungsassistentz und adaptiver Umgebung | 39 |
| 3.3 | Technische Anforderungen | 40 |
| 3.3.1 | Plug & Play-Umgebung und Spontan-Zugriff auf Geräten | 41 |
| 3.3.2 | Standardübergreifende Kommunikation | 41 |
| 3.3.3 | Unterstützung kontextsensitiver Anpassung von mobilen Benutzungsschnittstellen | 41 |
| 3.3.4 | Einheitlicher Zugriff auf verteilte Medien | 42 |
| 3.4 | Zusammenfassung der Anforderungen | 43 |
| 4 | Stand der Technik bei Ambient Intelligence | 47 |
| 4.1 | Ambient Intelligence | 47 |
| 4.1.1 | Microsoft EasyLiving | 47 |
| 4.1.2 | Philips HomeLab | 51 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.1.3 | FORSIP SIKOWO | 55 |
| 4.1.4 | Fraunhofer inHaus Duisburg | 57 |
| 4.1.5 | Funktionales Referenzmodell | 61 |
| 4.2 | Interaktionssysteme | 64 |
| 4.2.1 | u-Photo und StateSnap | 65 |
| 4.2.2 | PHH-Assistent im „EMBASSI-Privathaushalt“ | 67 |
| 4.2.3 | Greifbare Benutzungsschnittstelle und Multi-Touch | 71 |
| 4.2.4 | Weitere Systeme | 74 |
| 4.3 | Context Awareness | 74 |
| 4.3.1 | Was ist Kontext? | 74 |
| 4.3.2 | Welche Komponenten hat Kontext? | 75 |
| 4.3.3 | Wie wird Kontext dargestellt? | 75 |
| 4.3.4 | Wie wird Kontext erfasst? | 76 |
| 4.3.5 | Wie wird Kontext in Anwendungen überschrieben? | 77 |
| 4.4 | Zusammenfassung und Herausforderungen | 77 |
| 4.4.1 | Zusammenfassung Ambient Intelligence | 77 |
| 4.4.2 | Zusammenfassung Context-Awareness | 79 |
| 5 | Domainanalyse | 80 |
| 5.1 | Ansatz der Domainanalyse | 81 |
| 5.2 | Erste Iteration: Modellentwurf und Testschema | 81 |
| 5.2.1 | Erfassungsschema | 82 |
| 5.2.2 | Ergebnisse | 84 |
| 5.3 | Zweite Iteration: Geführte Fragebögen | 85 |
| 5.3.1 | Geführte Fragebögen und Observationen | 87 |
| 5.3.2 | Ergebnisse | 87 |
| 5.3.3 | Bewertung der Ergebnisse | 92 |
| 5.4 | Zusammenfassung und Abgrenzung | 93 |
| 6 | Ontologie und Umgebungsmodell | 96 |
| 6.1 | Szenario-basierte Kontextmodellierung | 97 |
| 6.2 | Domainanalyse-basierte Kontextmodellierung | 98 |
| 6.2.1 | Basis-Entitäten | 99 |
| 6.2.2 | Die Ambiente | 100 |
| 6.2.3 | Raum | 101 |
| 6.2.4 | Person | 105 |
| 6.2.5 | Geräte und Dienste | 105 |
| 6.2.6 | Dokumente, URL und Aktionen | 109 |
| 6.3 | Zusammenfassung und Abgrenzung | 110 |
| 7 | Lösungskonzept | 113 |
| 7.1 | Funktionales Modell durch hierarchische Aufgabenanalyse (HTA) | 113 |
| 7.1.1 | Welche Aufgaben gilt es mit einem Environment Controller zur unterstützen? | 113 |
| 7.1.2 | hierarchische Aufgabenanalyse | 114 |
| 7.1.3 | Interaktionsprobleme bei der Aufgabendurchführung | 119 |
| 7.1.4 | Akzeptanz von impliziten, proaktiven Interaktionssystemen | 120 |
| 7.2 | Bedienungskonzept | 124 |
| 7.2.1 | Genereller Ansatz des Bedienungskonzepts | 125 |
| 7.2.2 | Interaktionsmodell | 128 |
| 7.2.3 | Darstellungsmodell | 131 |
| 7.2.4 | Einordnung des Bedienungskonzepts | 136 |
| 7.2.5 | Weitere Funktionen des Environment Controllers | 137 |
| 7.3 | Environment Manager | 138 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 7.3.1 | Synchronizer | 140 |
| 7.3.2 | Metaphern | 140 |
| 7.3.3 | Strategien für die Synchronisation | 142 |
| 7.3.4 | Mechanismen zur Synchronisation von adaptiven Umgebungen und Interaktionsassistenten | 145 |
| 7.4 | Zusammenfassung | 149 |
| 8 | Realisierung | 151 |
| 8.1 | Das PECo-System | 151 |
| 8.1.1 | Integrierter Zugriff auf Medien und die physische Umgebung | 151 |
| 8.1.2 | PECo-Interaktionsmetaphern | 152 |
| 8.1.3 | Anforderungen an darunterliegende Middleware | 152 |
| 8.1.4 | PECo: eine intuitive Steuerungseinheit (Control Point) | 154 |
| 8.1.5 | Das PECo-Core-System | 155 |
| 8.1.6 | Erweiterung des PECo Systems um Interaktionsmanagement und adaptive Szenennavigation | 157 |
| 8.2 | Realisierung des Umgebungsmodells | 158 |
| 8.3 | AmI Rapid-Prototyping-Umgebung | 164 |
| 8.3.1 | Funktionale Beschreibung des 3DSim-Systems | 165 |
| 8.3.2 | Kontext-Visualisierung und Anbindung von Sensorik | 170 |
| 9 | Evaluierung | 172 |
| 9.1 | Quantitativer Usability-Test | 172 |
| 9.1.1 | Beschreibung des Verfahrens | 172 |
| 9.2 | Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse | 176 |
| 10 | Zusammenfassung | 180 |
| 10.1 | Rückblickende Zusammenfassung | 180 |
| 10.2 | Beiträge dieser Arbeit | 181 |
| 10.2.1 | Domainanalyse und Ontologien | 182 |
| 10.2.2 | Mensch-Umgebungs-Interaktion | 182 |
| 10.2.3 | Kontextbewusstsein | 186 |
| 10.3 | Ausblick | 187 |
| 11 | Anhang | 190 |
| 11.1 | Formulare für Domainanalyse | 190 |
| 11.2 | Bilder zur Evaluierung | 190 |
| 11.3 | Szenarien-basierte Domainanalyse | 190 |
| 11.3.1 | Beispiel für den Szenario-basierten Modellierungsansatz | 190 |
| 11.3.2 | Bedeutung systematischer Kontext-Modellierung | 194 |
| 11.3.3 | Eignung existierender Kontextmodelle für die HomeOffice Domäne | 195 |
| 11.3.4 | Szenario SZ1: Standalone Bildschirmarbeit | 196 |
| 11.3.5 | Szenario SZ2: Erstellung einer Antragskizze | 202 |
| 11.3.6 | Zusammenfassung der Erkenntnisse der Szenarienanalyse | 211 |
| 11.3.7 | Ableitung von Kontext-Komponenten | 211 |
| 11.4 | Bilder zu Lösungskonzept | 222 |
| 12 | Eigene Veröffentlichungen | 227 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|------|---|-----|
| 5.1 | Paarweise prozentuale Bewertung der Distanzen von Messvektoren bestimmter Situationen. | 95 |
| 7.1 | Hierarchische Aufgabenanalyse modelliert logische Gruppen von Benutzeraufgaben sowie die dazugehörigen Aufgaben und Teilaufgaben. | 115 |
| 7.2 | Hierarchische Aufgabenanalyse modelliert logische Gruppen von Benutzeraufgaben sowie die dazugehörigen Aufgaben und Teilaufgaben. | 118 |
| 7.3 | Hierarchische Aufgabenanalyse modelliert logische Gruppen von Benutzeraufgaben. | 120 |
| 8.1 | Verbesserte UPnP-Geräte für AmI-Meetingraum. | 156 |
| 9.1 | Signifikanzanalyse nach Student t-Test-Verfahren für die Testfälle 1-5 in der Situation Präsentation. | 177 |
| 9.2 | Signifikanzanalyse nach Student t-Test-Verfahren für die Testfälle 6-11 in der Situation Präsentation. | 177 |
| 11.1 | Klassifikation nach abgestammten Situationen und Pro-Activities sowie nach Kontext-Komponenten | 212 |
| 11.2 | Zuordnung HLA und Simple Queries zu den Komponenten-übergreifende Methoden des Modells. | 223 |
| 11.3 | Feststellung von <i>Relationen</i> zwischen Kontext-Dimensionen | 224 |
| 11.4 | Zuordnung von HLA und Simple Queries zu den <i>Kontext-Dimensionen</i> . . . | 224 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|-----|---|----|
| 1.1 | Die Umgebung unterstützt den Nutzer proaktiv bei der Nutzung von ubiquitär vorhandenen Diensten, Geräten und Medien (Bild: Fraunhofer-IGD). | 2 |
| 1.2 | Die umfassende Informatisierung und Vernetzung fast aller Dinge des täglichen Lebens ist bereits heute eine Realität (Bild: AKUT Scherer). | 3 |
| 1.3 | Über Funk kommunizierende Miniaturgeräte bilden die technologische Basis für AmI. | 4 |
| 1.4 | Kognitive Überlastung wegen funktionaler Komplexität und komplizierte Bedienungskonzepte (Bild: AKUT Scherer). | 4 |
| 1.5 | Zunehmende Anzahl von Geräten (Bild: inHaus) | 5 |
| 1.6 | Probleme bei Interaktion mit komplexen Umgebungen | 6 |
| 1.7 | Implizite Interaktion: adaptive Umgebung soll den Nutzer von Routine-Arbeiten entlasten. Fehlende Systemrepräsentation führt zum Vertrauensverlust und schreckt Benutzer zurück zu nutzen. (Bild: Microsoft) | 7 |
| 1.8 | Manueller Geräteauswahl: Wie sagt man welcher Lampe auszuschalten ist? | 9 |
| 2.1 | Ein multidimensionales Modell für die Klassifikation von Mensch-Umgebungs-Interaktion. Das Bild vergleicht den design space von zwei unterschiedlichen Interaktionssystemen. Eine 3-D-basierte, mobile Steuerungsassistentz [Naz04] mit der Raum-Steuerungskomponente des Microsoft EasyLiving [BMK ⁺ 00b]. | 17 |
| 2.2 | Eine explizite Interaktion mit der Umgebung mittels eines mobilen Assistentensystems [Naz04]. Hierbei ist der Nutzer aktiv und hat die Kontrolle über seine Umgebung. | 18 |
| 2.3 | Klassisches Beispiel für implizite Interaktion (Bild: AKUT - Scherer). | 19 |
| 2.4 | Explizite, zielbasierte Interaktion mit AmI-Umgebungen im Projekt EM-BASSI [KHS01a]. | 20 |
| 2.5 | Explizite gestenbasierte Interaktion mit Diensten (Bild: Microsoft) | 23 |
| 3.1 | Gebrauch von komplexen Systemen ist eine kognitive Herausforderung für den Nutzer und lenkt ihn von seinen eigentlichen Aufgaben ab. Vor allem wird dies verursacht durch die Vielzahl von Geräten und wachsende Funktionalität (Bild: Philips). | 28 |
| 3.2 | Geräte verschwinden in den Hintergrund (Bild: Philips) | 30 |
| 3.3 | <i>Ubiquity</i> und <i>Transparency</i> von Ambient Intelligence (vgl. Dimitrova (2004) [Dim04]): Viele Alltagsgegenstände haben keine adäquaten Benutzungsschnittstellen. Der Nutzer kann durch bloßes Hinschauen nicht die Funktionsweise bzw. Nutzungsweise verstehen (<i>Affordances</i> und <i>Visibility</i> , vgl. Norman (1983), [Nor83]). | 31 |
| 3.4 | Mobile Endgeräte bieten eine Systemdarstellung und Interaktionsmöglichkeit mit adaptiven Umgebungen (Bild: Philips Research). | 33 |
| 3.5 | Der Metapher eines Butlers [Dim04] soll in Ambient Intelligence für Social Interaction von adaptiven Umgebungen sorgen (Bild: inHaus). | 34 |
| 3.6 | Point & Shoot: (Links) Das Objekt wird mit Hilfe des Telefondisplays anvisiert. (Mitte) Der Joystick wird gedrückt, die visuellen Codes erscheinen für kurze Zeit. (Rechts) Das Objekt wurde erfolgreich ausgewählt. [BRSB05] | 37 |

| | | |
|------|---|----|
| 3.7 | Nutzer bilden ihr mentales Modell über das System Image, welches der Abbildung des mentalen Modells des Designers entspricht (Bild: [Sen04]). | 38 |
| 4.1 | EasyLiving: Entkopplung des Benutzers vom Arbeitstisch (Bild: Microsoft Research). | 48 |
| 4.2 | Die zentralistische EasyLiving System-Architektur (Bild: Microsoft Research) | 49 |
| 4.3 | Beispiel für Multimodale Interaktion in EasyLiving (Bild: Microsoft Research). | 50 |
| 4.4 | Das EasyLiving Geometric Model (Bild: Microsoft Research). | 51 |
| 4.5 | HomeLab bietet Real-life-Bedingungen für die Ambient-Intelligence-Forschung (Bild: Philips Research). | 52 |
| 4.6 | HomeLab Anwendungen (Bild: Philips Research) | 53 |
| 4.7 | Geräte in einem In-Home Digital Networks (IHDN) (Bild: Philips Research) | 54 |
| 4.8 | WWICE Domain Model (Bild: Philips Research) | 55 |
| 4.9 | SIKOWO Architektur (Bild: FORSIP) | 57 |
| 4.10 | Das inHaus Duisburg bestehend aus Wohn- und Werkstatt (Bild: inHaus). | 58 |
| 4.11 | Interne und externe Vernetzung im inHaus (Bild: inHaus). | 59 |
| 4.12 | Die OSGi Middleware erlaubt transparenten Gerätezugriff (Bild: inHaus). | 60 |
| 4.13 | InHaus-Architektur (Bild: inHaus). | 61 |
| 4.14 | Funktionales Referenzmodell. | 62 |
| 4.15 | Das u-Photo-Benutzungsschnittstelle erlaubt einen funktionsbasierten Zugriff auf Geräte und Medien. Benutzer können durch das Foto die Geräte manuell auswählen und über das normale 2-D-Menü bedienen (Quelle [SAI+05], 2005). | 65 |
| 4.16 | Avatar-basierte Benutzungsschnittstelle für EMBASSI-Privathaushalt. | 68 |
| 4.17 | Microsoft Surface: ein Computer für Multi-Touch Interaktion (Bild: Microsoft) | 71 |
| 4.18 | Multi-Touch-Table für Interaktion mit Virtuellen Umgebungen (Bild: Fraunhofer IGD) | 72 |
| 4.19 | Das Pendle Projekt erlaubt eine personalisierte Interaktion mit öffentlichen Displays (Bild: HCILab) | 73 |
| 4.20 | TA Cube ist ein TUI und stellt eine physische Verknüpfung für die Steuerung von Geräten dar (Bild: [FVEW08]) | 73 |
| 5.1 | Iterativer, aktivitätsorientierter Ansatz der Nutzer-Studie. | 82 |
| 5.2 | Capturing Form „Vortrag“ | 83 |
| 5.3 | Capturing Form „Meeting“ | 84 |
| 5.4 | Im Rahmen dieser Analyse wurden für das weitere händische Erfassungsschema elementare “Systemparameter“ festgelegt. | 85 |
| 5.5 | Durchführung der Domainanalyse. Die Bilder (a) and (b) zeigen die Situationen <i>Setup</i> and <i>Presentation</i> . | 86 |
| 5.6 | Hintergrund-Informationen über Testpersonen sowie beobachtete Vortragende. | 88 |
| 5.7 | Häufigkeit, mit der Geräte im Rahmen eines Präsentationsszenarios in einem Hörsaal eingesetzt werden. | 89 |
| 5.8 | Die in einer bestimmten Situation von Nutzern eingenommenen Positionen. | 90 |
| 5.9 | Die für eine bestimmte Aktivität vom Nutzer bevorzugten Interaktionsmodalitäten. | 91 |
| 5.10 | Welche Medientypen werden wie häufig (in %) in Präsentationsszenarien eingesetzt? | 92 |
| 5.11 | Wie häufig werden bestimmte Geräte für eine Präsentation benutzt? | 93 |
| 5.12 | Abstände der Messvektoren für die Übergänge innerhalb einer typischen Abfolge: Setup - Welcome - Presentation - Explanation - Q+A - Discussion - Conclusion | 94 |

| | | |
|------|--|-----|
| 6.1 | Existierende Entitäten und Relationen. | 99 |
| 6.2 | Orientierungsbestimmung für ein Objekt | 102 |
| 6.3 | Orientierung, Sichtzone und Umgebung einer Person. | 103 |
| 6.4 | Klassifikation von Geräten. | 106 |
| 6.5 | Die tatsächliche von der Kamera aufnehmbare RoomArea wird erst vom dazugehörigen Service ermittelt. | 112 |
| 7.1 | Mögliche Situationen eines Präsentationsszenarios | 116 |
| 7.2 | Die unterschiedlichen Verbindungen zwischen Geräten in einem Präsentations-szenario (074, Fraunhofer-IGD, Darmstadt). | 117 |
| 7.3 | Bevorzugte Präsentationsgeräte für einen bestimmten Medientyp. | 119 |
| 7.4 | Bei welcher Situation treten die meisten Interaktionsprobleme auf? Die An-gaben beziehen sich auf die herkömmliche Interaktionslösungen. | 120 |
| 7.5 | Wie viel Proaktivität wird von AmI in einer bestimmten <i>Aufgabe</i> erwartet? | 121 |
| 7.6 | In welcher Situation möchten Benutzer ihre Aufgaben von einem proaktiven System ausführen lassen? | 122 |
| 7.7 | Die Eignung der proaktiven Interaktion für die Durchführung einer Aufgabe in einer bestimmten Situation. | 123 |
| 7.8 | Environment Entities und deren Beziehungen. | 124 |
| 7.9 | Integrierte Verwendung von 2-D und 3-D-Metaphern zur Interaktion mit physischen und virtuellen Objekten | 126 |
| 7.10 | Wechselwirkung zwischen Mensch und Umgebung. | 128 |
| 7.11 | Das Interaktionsmodell zeigt das Konzept der impliziten und expliziten Wechselwirkung des Nutzers mit Geräten und Medien seiner Umgebung. | 129 |
| 7.12 | Die Entitäten der Bedienoberfläche. | 131 |
| 7.13 | Nutzung von Raummetapher und adaptive Visualisierung in Abhängigkeit vom Interaktionskontext (Medien, Geräte, Aufgabe) erlauben eine intuitive Bedienung. | 133 |
| 7.14 | Die Aufteilung der Bedienoberfläche. | 134 |
| 7.15 | Für den Aufbauprozess der Bedienoberfläche relevante Entitäten des Um-gebungsmodells. | 135 |
| 7.16 | Das Diagramm erklärt auf abstrakter Ebene, wie aus dem Umgebungs-mo-dell die Bedienoberfläche aufgebaut werden kann. | 136 |
| 7.17 | Eventbasierte Aktualisierung der User-Interface-Beschreibung (UI-Model). | 137 |
| 7.18 | Einordnung des Interaktionsmodells. | 138 |
| 7.19 | Funktionale Komponenten des Interaktionsmodells. | 139 |
| 7.20 | Schichtenmodell der Systemarchitektur eines Personal Environment Con-trollers. | 140 |
| 7.21 | Systemarchitektur zur Kontexterfassung mittels Sensoren. | 141 |
| 7.22 | Unterstützung der zielbasierten sowie funktionsbasierten Interaktion in dy-namischen Umgebungen basierend auf Makro und Device Discovery. | 142 |
| 7.23 | Systemarchitektur des gesamten PECo-Systems. | 143 |
| 7.24 | Anwendungsfall zeigt mögliche Synchronisationsaufgaben aus Benutzersicht. | 144 |
| 7.25 | Für das Interaktionsmanagement relevante Domain-Objekte. | 145 |
| 7.26 | Metaphern für den Ausschluss (Exclusion) von Geräten und die Aufteilung von Zuständigkeiten. | 146 |
| 7.27 | Zustandsmodell beschreibt den Mechanismus für Interaktions-Synchronisation. | 147 |
| 7.28 | Der Interaction Synchronizer behandelt Nebenläufigkeits- und Zugriffskon-trolle. Der Benutzer kann die Aktivitäten der adaptiven Umgebung mit Hilfe von Locking-Mechanismen kontrollieren. | 148 |
| 7.29 | Zustandsmodell des Interaction Synchronizers: Serialisierung und Verarbei-tung von Transaktionen. | 149 |

| | | |
|------|---|-----|
| 8.1 | Benutzungsschnittstelle des Systems sowie die Metapher des physikalischen Drag & Drop, welche Medien und Geräte verbindet. Des Weiteren verdeutlicht die Abbildung die adaptive Visualisierung in Abhängigkeit vom Interaktionskontext (ausgewählter Medientyp und Eignung der Geräte für diese Interaktion). | 152 |
| 8.2 | Anforderungen von 3-D-basierten dynamischen Benutzungsschnittstellen an UPnP. | 153 |
| 8.3 | Bedienoberfläche des PECo-Systems. | 154 |
| 8.4 | Software-Entitäten des PECo-Interaktionsgerätes- | 155 |
| 8.5 | Realisierung des Bedienungskonzepts im Ambient Intelligence Lab des Fraunhofer IGD. | 158 |
| 8.6 | Sensorik-Komponenten und deren Anordnung im Ambient Intelligence Lab. | 159 |
| 8.7 | Oben ein mobiles Gerät mit RFID-Ausstattung. Unten ein zusammengesetzter RFID-Carpet und die gitterartige Anordnung von Tags. | 160 |
| 8.8 | Ultra-Wide-Band basierte Positionierung mittels Ubisense System im Ambient Intelligence Lab. | 161 |
| 8.9 | Links eine Testroute. Rechts sind die vom System ermittelten Positionen (durchgezogene Linie) im Vergleich zu den realen Positionen (gepunktet) der Wagenmitte zu sehen. | 162 |
| 8.10 | Ermittelte (links) im Vergleich zur per Hand abgemessenen (rechts) Wagenmitte. | 163 |
| 8.11 | Basisumgebung mit drei entdeckten Displays. | 165 |
| 8.12 | Interne Struktur der 3DSim Rendering-Komponente. | 168 |
| 8.13 | 3DSim Systemübersicht: Wechselwirkung zwischen den verschiedenen Elementen. | 168 |
| 8.14 | Die Abbildung zeigt zwei SMART Boards, welche durch das 3DSim kontextabhängig umpositioniert wurden. | 170 |
| 9.1 | ISONORM - allgemeine Angaben. | 173 |
| 9.2 | Bewertung der Aufgabenangemessenheit nach ISONORM. | 173 |
| 9.3 | Detaillierte Ergebnisse der qualitativen Untersuchung der Ergonomie auf der Grundlage von ISO 9241/10. | 174 |
| 9.4 | Vergleich der qualitativen Bewertung, wobei die Nutzer nach ihrer Präsentationserfahrung gruppiert sind. | 175 |
| 9.5 | Durchführungszeiten in Sekunden für Testaufgaben während der <i>Presentation</i> -Situation. Verglichen werden die Systeme PECo mit herkömmlichen, zentralen Steuerungspult. | 176 |
| 9.6 | Aufgabendurchführungszeiten für a) Audience Light, b) Rolloststeuerung, c) Panel Light, d) Präsentationssteuerung. | 177 |
| 9.7 | Durchführungszeiten in Sekunden für Testaufgaben während der <i>Explanation</i> - Situation. Verglichen werden die Systeme PECo mit herkömmlichem, zentralem Steuerungspult. | 179 |
| 11.1 | Multimediale Informationselemente (Video zur Einführung in die Domäne) | 191 |
| 11.2 | Auswahlfragen im Multiple-Choice-Format | 192 |
| 11.3 | Fragestellungen mit Möglichkeit zur freien Gestaltung | 193 |
| 11.4 | Aufgabenlösungszeiten nach benutzter Interaktionsmodalität während der <i>Setup</i> Situation. | 194 |
| 11.5 | Beschreibung der Situation <i>Dokumentenzugriff</i> mittels charakteristischen Kontext-Komponenten | 197 |
| 11.6 | SZ1-S1: Zuordnung der HLA zu Kontext-Dimensionen | 197 |
| 11.7 | SZ1-S1-P1: Zuordnung der HLA zu Kontext-Dimensionen | 200 |
| 11.8 | Beschreibung der Situation <i>Projekt-Telefonat</i> mittels charakteristischen Kontext-Komponenten | 200 |

| | |
|--|-----|
| 11.9 SZ1-S2-P1: Zuordnung der HLA zu Kontext-Dimensionen | 201 |
| 11.10SZ2-S1: Zuordnung der HLA zu Kontext-Dimensionen | 202 |
| 11.11Charakterisierung der Situation <i>Dokumenten-Entwicklung</i> | 204 |
| 11.12SZ2-S1-P1: Zuordnung der HLA zu Kontext-Dimensionen | 204 |
| 11.13SZ2-S2: Zuordnung der HLA zu Kontext-Dimensionen | 205 |
| 11.14Beschreibung der Situation mittels charakteristische Kontext-Komponenten | 206 |
| 11.15SZ2-S2-P1: Zuordnung der HLA zu Kontext-Dimensionen | 208 |
| 11.16SZ2-S3: Zuordnung der HLA zu Kontext-Dimensionen | 209 |
| 11.17Beschreibung der Situation Brainstorming | 209 |
| 11.18Identifikation existierender Reaktionen basierend auf im Kapitel 11.3.7 durch- geführte Analyse der HLAs | 222 |
| 11.19Klassifikation von konkreten Geräten eines Meetingsraums | 225 |
| 11.20Interaktionsprobleme bei der Durchführung von bestimmten Aktivitäten in unterschiedlichen Situationen. | 225 |
| 11.21Interaktionsproblemen bei der Durchführung von bestimmten Aktivitäten. . | 226 |

1 Einleitung

Ambient Intelligence (AmI) ist die Vision von einer Welt, in der wir von intelligenten Geräten umgeben sind, die uns bei der Gestaltung, Organisation und Durchführung unseres täglichen Lebens unterstützen. Der Begriff Ambient Intelligence [EK05, Aar04] bezeichnet damit insbesondere ein neues Paradigma der Interaktion zwischen dem Menschen und seiner Alltagsumgebung. Ambient Intelligence versetzt diese Umwelt in die Lage, sich des in ihr handelnden Menschen, seiner Ziele und Bedürfnisse bewusst zu sein und dem Menschen aktiv bei der Durchführung seiner Tätigkeiten und beim Erreichen seiner Ziele zu assistieren.

Technische Basis der Ambient Intelligence ist die Durchdringung der Gegenstände des täglichen Lebens mit Informations- und Kommunikationstechnik - wir werden folglich in Zukunft von einer Vielzahl solcher *Information Appliances* [Don98] und vernetzten, *intelligenten* Alltagsgegenständen [Dim04, Aar04, Mat03] umgeben sein (vgl. Abb. 1.1). Ein Charakteristikum für solche intelligente Umgebungen ist die hohe Anzahl an vorhandenen vernetzten Geräten (vgl. Aarts, 2004 [Aar04]), immer wachsende Funktionalitäten dieser Geräte (vgl. [Min01]) und komplexen, heterogenen Infrastrukturen. Nach [Aar04] erkennen solche Ambient-Intelligence-Umgebungen (AmI-Umgebungen) die Präsenz und Situation einer Person und adaptieren sich entsprechend ihrer Bedürfnisse.

Bereits heute sind beispielsweise modernere Präsentationsräume mit zahlreichen *intelligenten* Geräten mit eingebetteten Automatismen und komplexen Funktionalitäten wie z. B. Video-Konferenzsysteme, Bild-Telefone, SmartBOARDS, Projektoren, Dimmer und komplexe Beleuchtungssysteme, Rolladen, Klima- und Lüftungsgeräte, internet TVs, „interactive Tables“¹, biometrische Personenerkennung etc. ausgestattet. Miniaturisierte persönliche Geräte wie PDA, Smart Phone, MP3-Player, Kamera, tragbarer Beamer, Tablet PC, digitaler Stift oder *intelligente Jacken* sind nur einige am Markt erhältliche Beispiele für Geräte, welche die Nutzer in solchen Umgebungen mit sich führen.

Auch in den Bereichen der Logistik, Produktion, Heime und Gesundheitszentren findet Ambient Intelligence wichtige Anwendungen. Entsprechend werden intelligente vernetzte Güter, Maschinen und Produkte in solchen Umgebungen eingesetzt, um die Produktion und Logistik in einer intelligenten Art zu unterstützen.

Die umfassende Informatisierung und Vernetzung fast aller Dinge des täglichen Lebens scheint in wenigen Jahren aus technischer Sicht bereits möglich zu werden (vgl. Abb. 1.2). Auslöser hierfür ist die Verdoppelung der Leistungsfähigkeit von

¹vgl. hierzu www.ipsi.fraunhofer.de/ambiente



Abbildung 1.1: Die Umgebung unterstützt den Nutzer proaktiv bei der Nutzung von ubiquitär vorhandenen Diensten, Geräten und Medien (Bild: Fraunhofer-IGD).

integrierten Schaltkreisen alle 18 Monate, was als *Moore's Law* [Moo65] bekannt ist. Des Weiteren impliziert diese Entwicklung eine zunehmenden Miniaturisierung und einen gleichzeitigen Preisverfall dieser Techniken, was die Grundlagen für die Vernetzung von Alltagsgegenständen bildet (vgl. Mattern, 2003 [Mat03]). Über Funk kommunizierende Mikroprozessoren, die kleinste Sensoren enthalten, welche (zunehmend stromsparend) ihre Umgebung erfassen können, lassen sich dann sehr günstig herstellen und zunehmend in unsere Alltagsgegenstände integrieren (vgl. Abb. 1.3, [Mat03]).

Eine weitere Grundlage hierfür bilden eingebettete Systeme, d. h. Miniatursysteme, die Aufgaben der Steuerung, der Verarbeitung und der Speicherung von Informationen auf kleinstem Raum zulassen. Der Computer (Mikroprozessor) in diesen Geräten wird für den Menschen weitestgehend unsichtbar sein. Zudem findet eine zunehmende Kommunikation zwischen diesen intelligenten Gegenständen statt (vgl. Mattern, 2003 [Mat03]).

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit werden die Begriffe Ambient-Intelligence-Umgebungen und intelligente Umgebungen synonym verwendet.

1.1 Motivation, Problemstellung und Fragestellung

Betrachtet man unsere Umgebungen der letzten Jahrzehnte näher, kann festgestellt werden, dass die Anzahl elektronischer Geräte ständig steigt. Zudem nimmt die Komplexität dieser Geräte ständig zu. Betrachtet man als Beispiel die Benutzung von erweiterten Funktionalitäten von modernen Küchengeräten wird dies deutlich (vgl. Abb. 1.2). Selbst die Programmierung eines Videorekorders, um eine bestimm-



Abbildung 1.2: Die umfassende Informatisierung und Vernetzung fast aller Dinge des täglichen Lebens ist bereits heute eine Realität (Bild: AKUT Scherer).

te Sendung automatisch aufzunehmen, stellt heute für die meisten Benutzer ein Problem dar, weil die Bedienung für die meisten Anwender zu komplex ist.

1.1.1 Motivation

Je mehr Technik verfügbar ist und je komplexer diese ist, desto größer wird die Herausforderung, Herr über seine Alltagsumgebung zu bleiben. Der Grund liegt darin, dass der Nutzer mit der Bedienung und Kontrolle der Technik überfordert ist. Die meisten vorhandenen Funktionalitäten bleiben unentdeckt oder können nicht angesprochen werden. Dadurch sinkt der Nutzen von immer neuen Geräten.

Deshalb stellt die Fähigkeit des Nutzers beim Gebrauch solch umfangreicher, komplexer, eingebetteter Systeme eine große Herausforderung an intelligente Umgebungen dar. Die Akzeptanz der Technologie und damit auch der Erfolg des AmI-Paradigmas hängt wesentlich von einer intuitiven Interaktion ab (vgl. Ailisto et al., 2006 [AIPV+06]). Damit der Nutzer sich nicht in der Fülle der Technik hilflos verliert, werden intuitive Bedienungskonzepte benötigt (vgl. Dimitrova, 2004 [Dim04] und Ailisto & Strömmer, 2006 [AIPV+06] S. 333). Deshalb befasst sich diese Arbeit mit den Problemen der Mensch-Umgebungs-Interaktion in AmI-Umgebungen.

1.1.2 Welche Probleme gibt es bei der Interaktion mit AmI-Umgebungen?

Insbesondere stellen die Vielzahl von vorhandenen Geräten sowie deren Komplexität ein Problem für den Nutzer dar, wenn er mit solchen Umgebungen interagieren möchte. Bereits heute kommen in einer Wohnumgebung viele intelligente Geräte vor

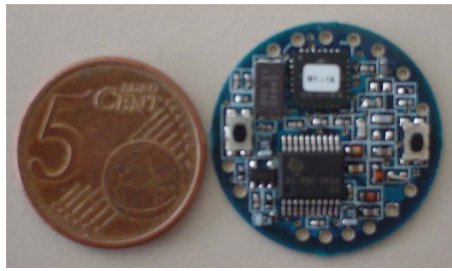


Abbildung 1.3: Über Funk kommunizierende Miniaturgeräte bilden die technologische Basis für AmI.

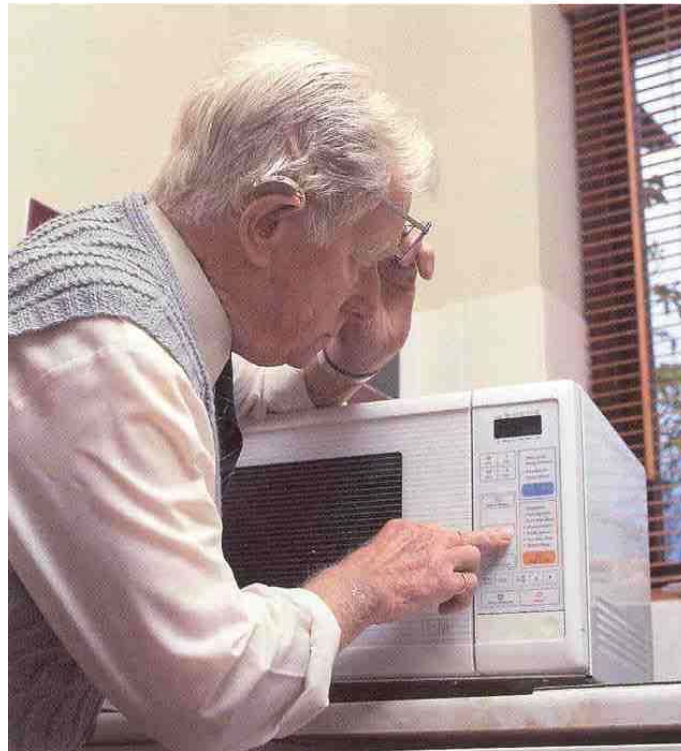


Abbildung 1.4: Kognitive Überlastung wegen funktionaler Komplexität und komplizierte Bedienungskonzepte (Bild: AKUT Scherer).

(vgl. Abb. 1.5). Es stellt sich die Frage, wie der Nutzer in solchen Umgebungen mit so einer großen Anzahl von heterogenen Systemen umgehen wird. Wie interagiert der Nutzer mit einer Technik und Infrastruktur, die wie Strom, Wasser und Telefon allgegenwärtig und zugleich auch „unsichtbar in den Hintergrund“ getreten ist?

Dabei ist insbesondere zu berücksichtigen, dass viele Geräte aufgrund der zunehmenden Miniaturisierung eingeschränkte oder sogar fehlende eigene Bedienmöglichkeiten besitzen (vgl. [Mat03, RSC02a]). Demnach ist ein weiteres Problem für die Mensch-Umgebungs-Interaktion fehlende Bedienschnittstellen bei miniaturisierten oder unsichtbar in die Umgebung eingebetteten Systemen [RSC02a].

Herkömmliche Interaktionssysteme (siehe Abbildung 1.6), welche sich wie bereits erläutert insbesondere durch ihre Komplexität und die große Anzahl an Geräten auszeichnen, bieten keine intuitiven Bedienmöglichkeiten für Ambient Intelligence an. In größeren intelligenten Umgebungen ist es schwierig für Nutzer, elektronische Dienste und Geräte zu identifizieren und zu aktivieren, welche ihren Bedürfnissen entspre-



Abbildung 1.5: Zunehmende Anzahl von Geräten (Bild: inHaus)

chen (vgl. [LPK⁺07]). Bisher muss sich der Mensch selbst darum kümmern, seine Umgebung und ihre Geräte seinen Erfordernissen gemäß zu kontrollieren und zu bedienen. Solch eine manuelle Steuerung der Umgebungen stellt aber eine große kognitive Belastung für den Nutzer dar (vgl. [LPK⁺07]).

Durch die vielfältigen Ausprägungen der Ressourcen sowie durch die hierfür erforderlichen Bedienungsaufgaben dürfen die Nutzer jedoch von ihren eigentlichen Aufgaben nicht abgelenkt werden. Dies ist ein Ziel von Ambient Intelligence (vgl. [EK05, AHS02]). Daher werden intuitive Bedienungskonzepte benötigt, welche den besonderen Herausforderungen der AmI gewachsen sind.

Durch Ambient Intelligence soll die Umgebung nun die Fähigkeit erhalten, dem Menschen diese mechanische Kontroll- und Steuerleistung *weitestgehend* abzunehmen und ihm gleichzeitig ihr volles Potential auf einfache Weise und auf seine aktuellen Ziele zugeschnitten anzubieten.

Die oben aufgestellte Frage nach einer intuitiven Steuerung intelligenter Umgebungen behandelt bereits eine bedeutende Anzahl von Forschungsarbeiten. Bei näherer Betrachtung existierender Forschung können mehrere Probleme bezüglich des Bedienungskonzepts dieser Arbeiten festgestellt werden. Im Folgenden werden die existierenden Lösungsmöglichkeiten zu der allgemeinen Fragestellung beschrieben. Anschließend werden die Hauptprobleme existierende Systeme erläutert. Daraus werden Ziele abgeleitet, welche dann im Rahmen dieser Arbeit zu erreichen sind.

1.1.3 Existierende Lösungsmöglichkeiten

Generell lassen sich zwei Typen von Systemen klassifizieren, welche dem Nutzer in solchen Umgebungen vorhandene Daten, Geräte und Infrastruktur sowie intelligente Services zugänglich machen.

Zum einen unterstützen einige Systeme mittels *impliziter Interaktion* (*proaktiv* oder *reaktiv*) den Nutzer in Abhängigkeit seiner aktuellen Situation, ohne dass eine aktive Handlung oder explizite Eingabe von ihm ausgehen muss. Dabei erkennt



Abbildung 1.6: Probleme bei Interaktion mit komplexen Umgebungen: herkömmliche Interaktionssysteme bieten keine intuitive Bedienung an. Insbesondere ist ein manuelles Auswählen von Geräten problematisch.

die Umgebung die aktuelle Situation des Nutzers und agiert adäquat zu seiner Situation [EK05]. Dieser Ansatz entlastet den Nutzer kognitiv, indem ihm die Auseinandersetzung mit der Vielzahl und der wachsenden Komplexität der Geräte in einer AmI-Umgebungen erspart bleibt. Ebenso bleibt die Heterogenität einer AmI-Umgebungen sowie das Problem der „unsichtbaren“ Geräte und fehlenden Benutzungsschnittstellen für den Nutzer verborgen, weil er nicht direkt und explizit mit der Umgebung interagieren muss. Außerdem muss der Nutzer bei einer impliziten Interaktion keine Geräte identifizieren oder aktivieren, wodurch sich das Problem von fehlenden Benutzungsschnittstellen für intuitive Geräteadressierung erst gar nicht stellt.

Ein Beispiel für implizite Interaktion ist die automatische Beleuchtung (vgl. Abb. 1.7). So kann beispielsweise in einem intelligenten Konferenzraum das Licht in Abhängigkeit vom Präsentationsfluss eingestellt werden. Ein anderes Beispiel ist ein automatisches Öffnen von Türen sobald ein Benutzer hindurchgehen will. Ein etwas intelligenteres Beispiel ist das Stummschalten eines Mobiltelefons sobald der Benutzer sich in einer „wichtigen“ Besprechung befindet. Auch ein Automatik-Getriebe ermöglicht eine Art von impliziter Interaktion. Das Getriebe passt sich in diesem Falle der Fahrsituation an und reagiert auf die Bedürfnisse des Nutzers, indem der richtige Gang eingeschaltet wird. Bei einer impliziten Interaktion nutzt der Mensch die Dienste, wie er auch Gas, Wasser und Strom benutzt, ohne sich Gedanken über die dahinter liegende Infrastruktur zu machen. Dafür besitzt der Benutzer nicht mehr die volle Kontrolle über seine Umgebung.

Bei einer impliziten Interaktion ist es entscheidend wichtig, die „richtigen“ Diens-



Abbildung 1.7: Implizite Interaktion: adaptive Umgebung soll den Nutzer von Routine-Arbeiten entlasten. Fehlende Systemrepräsentation führt zum Vertrauensverlust und schreckt Benutzer zurück zu nutzen. (Bild: Microsoft)

te zu einem richtigen Zeitpunkt anzubieten, um den Benutzer nicht von seinem Aufgabenfluss zu unterbrechen und seine Aufmerksamkeit unnötig zu belasten. Die Arbeiten [KASS04] befassen sich ausführlich damit, *wann* und durch welche Techniken dem Nutzer die benötigten Dienste proaktiv angeboten werden sollen, damit die Unterbrechung möglichst nicht störend wirkt. Dieser Aspekt wird im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter behandelt.

Die folgenden Arbeiten beschäftigen sich mit unterschiedlichen Aspekten der situationsabhängigen und impliziten Interaktion [DLS01, KHS01a, Egg02, FOR04b, ZGB⁺04, Jov03, PHNP05, Hec01, RSC02b, SMLP01, SD02].

Zum anderen sind es Assistenzsysteme, welche eine *explizite Interaktion* mit der physischen Umgebung² und allgegenwärtigen Diensten auf der einen Seite oder mit persönlichen Medien auf der anderen Seite ermöglichen. Ein klassisches Beispiel für explizite Interaktion ist die Bedienung von Fernseher und HiFi-Anlagen mit Hilfe einer Fernbedienung. Folgende Arbeiten behandeln die explizite Interaktion unter verschiedensten Aspekten [SAI⁺05, KRA01, Pro04, ELM⁺99, NMH⁺02, PSG00, Rot02, BSLG98, SKW⁺02, VH00, PDI03, YEW03a, RZ05, WKJ05, Nak01] .

Der Nutzer bestimmt, wann eine Aktion geschehen soll. Deshalb stellt sich hier das Problem der „unerwünschten Automatismen“ oder „Intelligenz zu falschem Zeitpunkt“ erst gar nicht. Dafür wird der Benutzer mit der Komplexität der Umgebung und der Vielzahl der Geräte konfrontiert. Bei einer expliziten Interaktion wird auf die Vorteile von Automatisierung und dadurch die Entlastung des Nutzers von Routineaufgaben verzichtet.

Bei einer impliziten Interaktion dagegen wird dem Nutzer die Kontrolle über

²meistens nur mit einzelnen Geräten und nicht mit der kompletten Umgebung

seine Umgebung abgenommen. Es fehlt die Möglichkeit, das Systemverhalten zu überschreiben (vgl. [RSC02a]). Dies stößt jedoch auf geringe Nutzerakzeptanz, insbesondere wenn solche impliziten Systeme nicht effektiv und fehlerfrei arbeiten (vgl. [JBD00]). Ein wichtiger Faktor „in the successful use of automated systems is the extent to which people trust the automation to perform effectively“ (vgl. [JBD00]). Demnach sind Effektivität und zuverlässige Funktionsweise von impliziten Systemen eine Voraussetzung für deren Akzeptanz. Existierende Systeme zur impliziten Interaktion mit intelligenten Umgebungen sind jedoch zurzeit nicht zuverlässig einsetzbar. Grund dafür sind das Fehlen von tragfähigen Situationsmodellen, fehlerhafte und ungenaue Situations- und Zielerkennung, fehlende Verfahren zur präzisen Aktivitäts- und Kontexterkennung sowie sehr hohe Anforderungen, welche an die Intelligenz von impliziten Interaktionssystemen gestellt werden.

Damit eine höhere Akzeptanz der Mensch-Umgebungs-Interaktion erreicht wird, wird im Rahmen dieser Arbeit eine Kombination der beiden Interaktionsformen vorgeschlagen, um die Vorteile der verschiedenen Ansätze zu kombinieren. Damit besitzt der Nutzer die Kontrolle über seine Umgebung und kann gleichzeitig auch die Vorteile einer Automatisierung nutzen. Eventuelle Fehler eines impliziten Interaktionssystems sowie unerwünschte Automatismen kann er mit Hilfe des expliziten Assistenten ausgleichen. Solch ein ganzheitliches Interaktionssystem und eine Koexistenz dieser beiden Paradigmen fehlen jedoch bislang. Im Folgenden werden diese Probleme näher erläutert.

1.1.4 Fehlende Koexistenz von expliziter und impliziter Interaktion

Eine reine implizite Interaktion wird von den meisten Benutzern nicht akzeptiert. Deshalb möchten Benutzer grundsätzlich beide Interaktionsformen benutzen (vgl. [AE06]). Sie möchten nicht, dass Systeme alle Arbeiten und Prozesse selbständig übernehmen. D.h. Sie möchten eine parallele Möglichkeit zwecks expliziter Interaktion besitzen, um bei Bedarf volle Kontrolle über ihre Umgebung zu haben (vgl. Studienergebnisse aus dem Kapitel 5.1 bzw. in [Naz06c, Naz06a, NM06]). Deshalb wird eine Kombination von impliziten und expliziten Interaktion benötigt, um die Akzeptanz des Gesamt-Interaktionssystems zu erhöhen.

Durch eine solche ganzheitliche Interaktion können die Vorteile einer Automatisierung genutzt und zugleich die Möglichkeit einer expliziten Interaktion beibehalten werden. Hierdurch kann der Nutzer bei Bedarf selbst die Kontrolle seiner Umgebung übernehmen. Nachteilhaft ist es dabei, dass Interaktionskonflikte auftauchen können, wenn sowohl die Umgebung als auch der Nutzer gleichzeitig auf ein Objekt zugreifen möchten. Des Weiteren kann es ebenfalls vorkommen, dass gegensätzliche Aktionen durchgeführt werden. Um diese Nachteile zu vermeiden, werden ganzheitliche Bedienungskonzepte benötigt, welche beide Interaktionsformen anbieten und zugleich dieser Art von Konflikten vermeiden bzw. lösen können. So stoßen heutige Bedienungskonzepte in ihrem heutigen Zustand oftmals an Ihre Grenzen, eine Koexistenz von expliziter und impliziter Interaktion zu ermöglichen.



Abbildung 1.8: Manueller Geräteauswahl: Wie sagt man welcher Lampe auszuschalten ist?

1.1.5 Probleme bei Interaktion in unbekannten Umgebungen

Eine der weiteren großen Herausforderungen ist es, dem Nutzer eine *intuitive* Interaktion mit *komplexen, unbekannten oder heterogenen* Umgebungen zu ermöglichen, ohne vom Benutzer Kenntnisse über Infrastruktur sowie über technische Informationen zu verlangen ([AIPV⁺06]).

Die Heterogenität und Komplexität von existierenden Interaktionssystemen lenken jedoch dem Benutzer zu sehr von den eigentlichen Aufgaben ab. Zur Steuerung von Geräten müssen diese meistens zunächst selektiert werden, was zwecks Geräteadressierung die Identifikation dieser Geräte vom Benutzer erwartet (vgl. [LPK⁺07]). Diese Informationen fehlen dem Nutzer oft. Dabei können komplexe Umgebungen hunderte von Geräten besitzen, was eine intuitive, manuelle Geräteauswahl über Identifikation durch z.B. Gerätenummer nahezu unmöglich machen (vgl. [LPK⁺07]), weil solche Daten schwer einzuprägen sind.³

1.1.6 Fehlender Synchronisation der Benutzungsschnittstelle mit Aml-Umgebungen

Ein weiteres Problem von existierenden Assistenzsystemen ist die fehlende Dynamik sich ständig intelligenten Umgebungen anzupassen, was die Interaktion dadurch erschwert, dass das Auffinden und Selektieren von insbesondere neuen Geräten und Diensten mittels herkömmlicher Systeme für Benutzer problematischer wird (vgl. [PL06]; siehe Abb. 1.8). Dies kann bspw. durch Ausfall, Hinzunahme von neuen Geräten oder Umstellung (z.B. Positionswechsel) von Gegenständen bedingt sein. Um neue Geräte dem Nutzer einfach verfügbar zu machen, müssen diese Änderungen durch das Interaktionssystem adäquat berücksichtigt werden. Die Bedienungschnittstellen müssen mit der physischen Umgebung synchronisiert sein. Existierende Interaktionssysteme adressieren dieses Problem nicht adäquat. Neue Geräte können deshalb nicht ad-hoc und sofort vom Benutzer benutzt werden.

³Man beachte, dass der Vision von Aml nach der Nutzer sich um seine Hauptaktivitäten widmen soll, ohne sich dabei um technische Details oder Interaktion mit Infrastruktur zu kümmern.

Die oben beschriebenen Probleme zeigen auf, dass das Gebiet der intuitiven Interaktion mit reinen assistenzbasierten Systemen derzeit nicht ausreichend erforscht ist. Deshalb fokussiert diese Arbeit unter anderem auf die Bereitstellung von intuitiven und adaptiven Assistenzsystemen.

1.2 Ziele der Arbeit

Vor dem geschilderten Mangel an Systemen für intuitive Interaktion mit intelligenten Umgebungen liegt das primäre Ziel dieser Forschungsarbeit darin, die im Kapitel 1.1 beschriebenen Problemen durch die Konzeption und Bereitstellung eines adäquaten Assistenzsystems zu adressieren. Demnach fokussiert diese Arbeit auf die wissenschaftliche Konzeption eines intuitiven Assistenzsystems zur ganzheitlichen und konfliktfreien Interaktion in adaptiven Umgebungen. Dazu gehört die Entwicklung eines Bedienungskonzepts, dem ein *ganzheitliches Interaktionsmodell* für eine *intuitive* und einfache Bedienung komplexer Umgebungen zu Grunde liegt.

Die *Intuitivität* des Interaktionsmodells soll insbesondere dem Benutzer eine Interaktion in fremden Umgebungen ermöglichen, ohne technische Informationen über die Infrastruktur seiner Umgebung zu verlangen. Weiter soll die Interaktion einfach zu lernen und zu handhaben sein. Das heißt die heterogenen Geräte und Infrastrukturen, die teilweise fehlende Benutzungsschnittstelle, die „unsichtbar“ in einer Umgebung eingebetteten Systeme sowie die große Anzahl der vorhandenen Geräte sollen für den Nutzer „verborgen“ bleiben, damit er durch die Interaktion nicht von seinen eigentlichen Aufgaben abgelenkt wird. Durch diese Verborgenheit soll eine kognitive Belastung des Anwenders bei der Interaktion mit seiner komplexen Umgebung verhindert werden. Dies kann beispielsweise durch *zielbasierte Assistenz* erreicht werden, bei welcher der Nutzer seine Ziele an die Umgebung äußert, ohne auf einzelne Geräte oder die Art der Zieldurchführung zu achten. Wenn jedoch ein direkter Zugriff auf einzelne Geräte benötigt wird, soll der Benutzer bei Bedarf eine einfache und intuitive Möglichkeit besitzen, Geräte auszuwählen und direkt zu manipulieren. Dies soll auch in fremden Umgebungen möglich sein, was die zuvor erläuterte Anforderung auch hier aufrecht erhält, dass die Geräteauswahl auch ohne Besitz von technischen Informationen über die Infrastruktur möglich sein muss. Dies kann beispielsweise durch die Nutzung von 3D-Gesten und Raummetaphern erreicht werden.

Die *Ganzheitlichkeit* des Interaktionsmodells berücksichtigt insbesondere die Koexistenz von impliziter und expliziter Interaktion in einer Umgebung. Dies bedeutet aber, dass auch eventuell daraus entstehenden gegensätzlichen und konkurrierenden Interaktionen Rechnung getragen werden muss.

Des Weiteren verstehen wir unter Ganzheitlichkeit, dass der Nutzer mittels eines integrierten Interaktionsansatzes unterschiedliche Objekttypen (z. B. Dokumente und Geräte) bedienen kann. Dadurch können verschiedenartige Aktivitäten einer Domäne über die reine Gerätesteuerung hinaus unterstützt werden. Dabei kann der

Nutzer auf einer abstrakten Ebene seine *Ziele* äußern, ohne einzelne Geräte und Funktionalitäten der Umgebung direkt anzusprechen. Zugleich bietet das Interaktionssystem auch die Möglichkeit, einzelne Funktionen direkt auf der Ebene von Geräten auszuführen. Durch diese Kombination von zielbasierter Interaktion mit einer Umgebung (vgl. Encarnacao und Kirste, 2005 [EK05]) und funktionsbasiertem Zugriff auf einzelne Geräte soll dem Nutzer je nach seiner Situation ein passender Interaktionstyp angeboten werden.

1.3 Zusammenfassung und Abgrenzung

Im Zentrum der vorliegenden Arbeit steht die wissenschaftliche Behandlung von Mensch-Umgebungs-Interaktion. Im Rahmen dieses Kapitels wurden die besonderen Herausforderungen für die Interaktion in intelligenten Umgebungen diskutiert. Ein Charakteristikum für solche Umgebungen ist die hohe Anzahl an vorhandenen vernetzten Geräten (vgl. Aarts, 2004 [Aar04]), die immer wachsenden Funktionalitäten dieser Geräte (vgl. Miner, 2001 [Min01]) sowie die heterogenen Infrastrukturen. Die meisten vorhandenen Funktionalitäten bleiben unentdeckt oder können nicht angesprochen werden. Der Grund liegt darin, dass der Nutzer mit der Bedienung und Kontrolle der Technik überfordert ist. Dadurch sinkt der Nutzen von immer neuen Geräten. Ein weiteres Problem für die Mensch-Umgebungs-Interaktion ist die fehlende Benutzungsschnittstelle bei miniaturisierten oder unsichtbar in die Umgebung eingebetteten Systemen [RSC02a]. Die Akzeptanz der Technologie und damit der Erfolg des AmI-Paradigmas hängt wesentlich von einer intuitiven Interaktion ab (vgl. Ailisto et al., 2006 [AIPV+06]). Damit der Nutzer sich nicht hilflos in der Fülle der Technik verliert, werden intuitive Bedienungskonzepte benötigt (vgl. Dimitrova, 2004 [Dim04] sowie Ailisto und Strömmer, 2006 [AIPV+06] S. 333).

Was ist die allgemeine Fragestellung? Deshalb befasst sich diese Arbeit mit der allgemeinen Fragestellung, wie die Interaktion zwischen dem Menschen und seiner Umgebung *intuitiv* gestaltet werden kann. Wie sollte der Nutzer in solchen Umgebungen mit so einer großen Anzahl von heterogenen Systemen handeln? Wie interagiert der Nutzer mit einer Technik und Infrastruktur, die wie Strom, Wasser und Telefon allgegenwärtig und zugleich auch unsichtbar in den Hintergrund getreten ist?

Des Weiteren steht die Frage eine Koexistenz von mobilen Assistenten und adaptiven Umgebungen im Vordergrund. Die wichtigste Fragestellung dieser Arbeit lautet jedoch, wie der Nutzer Geräte manuell auswählen kann ohne technische Informationen über die Infrastruktur zu haben. Bei der Betrachtung dieser Fragestellungen sind zusätzlich die Ad-hoc-Änderungen der adaptiven Umgebung zu berücksichtigen.

Aus diesen Top-Level-Fragen gehen weitere untergeordnete Fragen hervor. So ist zu beachten, dass die Intuitivität sich stets auf eine bestimmte Situation und Aufgabe bezieht. Demzufolge ist wissenschaftlich zu erforschen, welche Situationen und Aktivitäten in einer Domäne existieren. Eine weitere Fragestellung hängt mit der Dynamik der Umgebung zusammen. Wie behandelt man dynamische Änderungen

der Umgebung, sodass der Zugriff auch auf die neuen Geräte bzw. veränderte Umgebungskontexte gewährleistet werden kann? Wie können überhaupt solche Veränderungen entdeckt und registriert werden? Betrachtet man die Möglichkeit, dass persönliche Assistenten mit adaptiven Umgebungen koexistieren können, so stellt sich die Frage, wie konkurrierende Zugriffe auf die Umgebung synchronisiert werden können. Welche Konflikte können dabei entstehen und wie sehen mögliche Lösungsmechanismen jeweils aus, welche auch auf andere Domänen und Interaktionssysteme übertragbar sind?

Welche wesentlichen Beiträge liefert diese Arbeit? Vertiefend und im Zusammenhang mit der Behandlung der oben skizzierten Randbedingungen liefert diese Dissertation folgende wesentliche Beiträge zu den jeweiligen Gebieten.

Im Bereich Domainanalyse und Ontologien sind zu verzeichnen:

- die Untersuchung und Modellierung von Präsentationsszenarien zur Gewinnung von wichtigen Erkenntnissen zur Ausformung eines Situations- und Umgebungsmodells;
- die Einführung von Parametern für eine eindeutige Situationsbeschreibung; erstmalig auf einer semi-formalen Ebene und unabhängig von speziellen Sensoren und Erfassungstechnologien;
- die Einführung eines neuen hierarchischen Aufgabenmodells sowie die Beschreibung von Beziehungen zwischen Aufgaben, Medien und Geräten;

Im Bereich der Mensch-Umgebungs-Interaktion liegen die Hauptergebnisse dieser Dissertation:

- in der Einführung eines neuen Klassifikationsmodells für Mensch-Umgebungs-Interaktion, welche eine weiter gehende und detailliertere Betrachtung der Interaktion in sechs unterschiedlichen Dimensionen erlaubt;
- in der erstmaligen Entwicklung einer 3-D-basierten Benutzungsschnittstelle für die Mensch-Umgebungs-Interaktion. Das Bedienungskonzept erlaubt erstmalig eine räumliche Adressierung von Geräten und bietet hierzu neuartige 3-D-Metaphern für die Steuerung der Umgebung an;
- in der Entwicklung eines neuen Verfahrens zur dynamischen und kontextsensitiven Adaptierung der Oberfläche und dessen Synchronisation mit der Umgebung;
- in der Einführung von neuen Metaphern und Mechanismen zur Lösung von Interaktionskonflikten und die erstmalige Anwendung auf die Mensch-Umgebungs-Interaktion.

Im Bereich von Kontextbewusstsein sind es

- die Entwicklung einer Sensorik zur Kontexterfassung sowie die Schaffung eines Verfahrens zur verbesserten Ortung von mobilen Multimedia-Geräten;

- die Definition eines neuen Kontextmodells, welches die Umgebung und den Interaktionskontext beschreibt und erstmalig eine Adaptivität der Benutzungsschnittstelle bezogen auf die Kontextdimensionen Ort, Gerät, Medien und Aktivität ermöglicht. Insbesondere erlaubt das Modell die Handhabung von Interaktionskonflikten;
- die Entwicklung eines verbesserten Verfahrens für ein ortsabhängiges Auffinden von Geräten (*Location-aware Device Discovery*);
- die Entwicklung eines verbesserten Simulations- und Entwicklungswerkzeuges für kontextabhängige Anwendungen

Welchen neuartigen Ansatz verfolgt diese Arbeit? Vor dem geschilderten Mangel an Systemen für intuitive Interaktion fokussiert die vorliegende Arbeit auf die wissenschaftliche Konzeption eines *intuitiven* Assistenzsystems zur *ganzheitlichen* und konfliktfreien Interaktion in adaptiven Umgebungen.

Damit eine höhere Akzeptanz der Mensch-Umgebungs-Interaktion erreicht wird, wird im Rahmen dieser Arbeit eine Kombination von impliziter und expliziter Interaktionsform vorgeschlagen. Durch eine solche ganzheitliche Interaktion können die Vorteile einer Automatisierung genutzt und zugleich die Möglichkeiten einer expliziten Interaktion beibehalten werden. Hierdurch kann der Nutzer bei Bedarf selbst die Kontrolle über seine Umgebung übernehmen. Von Nachteil ist dabei, dass Interaktionskonflikte auftauchen können, wenn sowohl die Umgebung als auch der Nutzer gleichzeitig auf ein Objekt zugreifen möchten. Es kann auch vorkommen, dass gegensätzliche Aktionen durchgeführt werden. Die *Ganzheitlichkeit* des Interaktionsmodells berücksichtigt im Gegensatz zu anderen Ansätzen insbesondere die Koexistenz von impliziten und expliziten Interaktionen in einer Umgebung. Es werden Mechanismen und Metaphern zum Interaktionsmanagement bereitgestellt.

Die Ganzheitlichkeit des Bedienungskonzeptes erlaubt dem Nutzer mittels eines integrierten Interaktionsansatzes unterschiedliche Objekttypen (z. B. Dokumente und Geräte) zu bedienen. Dadurch sollen verschiedenartige Aktivitäten einer Domäne über die reine Gerätesteuerung hinaus unterstützt werden. Der Nutzer soll auf einer abstrakten Ebene sich sowohl *Ziele* als auch funktionsbasiert äußern können. Durch diese Kombination soll dem Nutzer je nach seiner Situation eine passende Interaktionsform angeboten werden. Solch ein ganzheitliches Interaktionssystem und eine Koexistenz von diesen beiden Paradigmen fehlen jedoch bislang.

Die *Intuitivität* des Interaktionsmodells soll dem Benutzer insbesondere eine Interaktion in fremden Umgebungen ermöglichen, ohne technische Informationen über die Infrastruktur seiner Umgebung von ihm zu verlangen. Um eine manuelle Geräteauswahl einfacher zu gestalten, verfolgt diese Arbeit den Ansatz von räumlicher Adressierung. Im Gegensatz zu existierenden Arbeiten kann der Nutzer die physikalischen Objekte beispielsweise durch Anwendung von 3-D-Gesten oder durch die Auswahl von 3-D-Objekten über mobile Endgeräte ansprechen. Des Weiteren stellt die vorliegende Arbeit Mechanismen zur kontextabhängigen Adaptierung des expliziten Interaktionssystems vor. Die dynamische Anpassung von Benutzungsschnittstelle in Abhängigkeit von aktuellen Interaktions- und Umgebungskontexten ermöglicht ein

leichtes Auffinden und Selektieren von neuen Geräten und Diensten. Diesbezüglich sollen aktuelle Kontextinformationen zu vorhandenen Geräten und Medien, deren Position und Orientierung sowie Kontextinformationen zu Aufgaben und Mensch-Umgebungs-Interaktion ausgewertet werden.

Abgrenzung des Themas Im Sinne der oben zusammengefassten Fragestellungen befasst sich diese Arbeit mit der Konzeption eines intuitiven Assistenzsystems sowie die Koexistenz von solchen Assistenzsystemen mit impliziten Interaktionssystemen in adaptiven Umgebungen. Dies wird am Beispiel von Multimedia-Umgebungen durchgeführt. Die Arbeit erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit im Sinne von Bereitstellung eines Interaktionssystem für alle Szenarien, Situationen und Aktivitäten der behandelten Domäne sowie eine vollständige Realisierung der entwickelten Konzepte.

Vor allem werden innerhalb der Arbeit keine Aussagen darüber getroffen, wie adaptive Umgebungen bzw. implizite Interaktionssysteme gestaltet werden sollen. Hierzu wird beispielsweise auf [SD02, SMLP01] verwiesen. Diese Arbeit hat ebenfalls nicht zum Ziel, Nutzerverhalten zu analysieren sowie seine Wünsche und Ziele mit der Absicht zu erforschen, Situations- oder Proaktivitätsmodelle bereitzustellen. Hierzu wird auf andere Forschungsarbeiten verwiesen (vgl. [NodAH04, NWzK03, Sen04, Naz06c]). Mit dem Thema der Situationsanalyse und automatische Unterstützung in intelligenten Umgebungen befassen sich ausführlich [NodAH04, Sen04, PHNP05].

Die Entwicklung von Middleware für Speicherung, Verteilung und Management von Kontextinformationen (vgl. hierzu [Ens02, SLP04, ADB⁺99]), die Entwicklung von Sensoren stehen nicht im Fokus der Arbeit. Ebenfalls sind Context-Fusion und Inferenz von neuen Kontextinformationen von der Aufgabenstellung ausgenommen.

Aufbau der Arbeit Die vorliegende Arbeit gliedert sich zur Lösung der dargestellten Problematik und zur Umsetzung der aufgezählten Ziele in zehn Kapitel.

Als eine Einleitung in dieser Dissertation präsentiert das erste Kapitel die allgemeine Problemstellung und motiviert das behandelte Thema sowie die Vorgehensweise dieser Arbeit. In Kapitel 2 werden die Grundlagen für diese Arbeit wiedergegeben. Hierzu wird eine Einordnung des Begriffes Mensch-Umgebungs-Interaktion in die Forschungsgebiete Ambient Intelligence und Mensch-Maschine-Schnittstelle gegeben. Weiterhin werden die Themen Interaktion und Assistenzsysteme detailliert betrachtet.

Die Anforderungen, die sich aus der Zielsetzung dieser Arbeit ergeben, werden in Kapitel 3 erarbeitet. Dieses Kapitel beschäftigt sich eingehend mit der Interaktion in intelligenten Umgebungen. Es werden verschiedene Problematiken bei der Steuerung von komplexen, unbekannten Umgebungen betrachtet.

Das Kapitel 4 zeigt eine Untersuchung und Bewertung existierender Technologien zum Forschungsthema Interaktion in intelligenten Umgebungen. Hierzu dienen die

zuvor entwickelten Anforderungen als Grundlage. Die Identifizierung von Mängeln in Bezug auf diese Anforderungen stellt einen Schwerpunkt der Arbeit in diesem Kapitel dar.

Gegenstand des Kapitels 5 ist eine Domainanalyse zur Gewinnung von Erkenntnissen über Situationen und Aktivitäten in Vortragsräumen sowie die dabei verwendeten Geräten, Medien und Modalitäten. Aus den Ergebnissen der Analyse sollen funktionale Anforderungen an ein Assistenzsystem abgeleitet werden, die es bei der Entwicklung von Lösungskonzepten zu erfüllen gilt.

Das Kapitel 6 präsentiert Ontologien und Kontextmodelle. Ein detailliertes Verständnis über die Umgebung des Nutzers sowie über den Interaktionskontext ist eine Voraussetzung für den Entwurf von intuitiven Interaktionslösungen. Aus diesem Gesichtspunkt heraus modelliert dieses Kapitel die im Rahmen der Domain-Analyse gewonnenen Erkenntnisse. Die hierbei entstehenden Ontologien und Kontextmodelle sind eine Grundlage für die Entwicklung von Konzepten und Algorithmen im nächsten Kapitel dieser Arbeit.

Ein Schwerpunkt des Kapitels 7 ist die Entwicklung eines Bedienungskonzepts und die Bereitstellung eines adäquaten Assistenzsystems. Als Grundlage hierzu dienen die ausgearbeiteten Anforderungen sowie die identifizierten Mängel aus Kapitel 4, die es zu lösen gilt. Dabei ist das Ziel des Bedienungskonzepts, den Nutzer bei der Durchführung der im Kapitel 7.1 identifizierten Aufgaben (HTA) zu unterstützen. Die HTA beschränkt sich auf Aufgaben, bei deren Ausführung der Nutzer mittels eines zu entwickelnden Interaktionssystems unterstützt werden soll. Weiter soll die diese Arbeit zu Grunde liegende Problemstellung adäquat adressiert werden.

Das Kapitel 8 validiert die entwickelten Lösungskonzepte auf der Basis einer Realisierung eines konkreten prototypischen Systems.

Gegenstand des Kapitels 9 ist die Evaluierung des Lösungskonzeptes in Bezug auf die aufgestellten Anforderungen. Es wird anhand von Feldversuchsstudien das Bedienungskonzept evaluiert, wobei die Evaluierung sich auf die mittels der hierarchische Aufgabenanalyse ermittelten Aufgaben konzentriert. Bei den Feldversuchsstudien werden qualitative sowie quantitative Usability Tests durchgeführt und das Nutzerverhalten gründlich analysiert und bewertet. Dazu werden die Aufgabendurchführungszeiten, Fehlerraten, die Lernkurve des Nutzers sowie dessen Zufriedenheit bei der Bedienung des Systems analysiert.

Das Kapitel 10 schliesst diese Dissertation mit einer Zusammenfassung der Ergebnisse ab und gibt ein Ausblick in zukünftigen Arbeiten.

2 Klassifikationsmodell für Mensch-Umgebungs-Interaktion

Dieses Kapitel stellt ein Modell vor, das die Mensch-Umgebungs-Interaktion in sechs Dimensionen klassifiziert. Es beschreibt die unterschiedlichen Dimensionen der Interaktion und skizziert den Gestaltungsraum für Interaktionssysteme, womit das vorliegende Klassifikationsmodell auch als ein Metamodell für die Interaktionsmodellierung dient. Dadurch wird der Entwurf von geeigneten Bedienungskonzepten erleichtert.

Ein Bedienkonzept muss unterschiedlichen Anforderungen genügen. Diese hängen zum einen von der Anwendungsdomäne und zum anderen von den zu unterstützenden Aktivitäten ab. Demnach muss das Bedienungskonzept eines Systems je nach Ziel-domäne spezifisch entworfen bzw. überarbeitet werden. Bei der Entwicklung eines Interaktionssystems bietet das vorgestellte Klassifikationsmodell eine multi-dimensionale Entscheidungsgrundlage dafür an, welchem Interaktionsparadigma das zu entwickelnde Bedienungskonzept folgen sollte. Dabei erlaubt das Klassifikationsmodell, die Interaktion aus unterschiedlichen Dimensionen heraus zu betrachten und für die jeweilige Domäne und zu unterstützende Aktivitäten ein passendes Bedienungskonzept aus dem Gestaltungsraum heraus zu *konfigurieren*.

Des Weiteren bietet das Modell eine Grundlage für die systematische Untersuchung der Anforderungen an die Mensch-Umgebungs-Interaktion im Kapitel 3.1 und 3.2 an. Ebenfalls wird das Modell zur Untersuchung existierender Ansätze und zur Klassifikation von Konzepten in darauf folgenden Kapiteln verwendet (vgl. auch [Naz07b, Naz06b]).

2.1 Interaktionsparadigmen für Ambient Intelligence

Im Bereich der Mensch-Umgebungs-Interaktion lassen sich verschiedene Interaktionsparadigmen unterscheiden, die man auf verschiedenen Dimensionen klassifizieren kann (vgl. Abb. 2.1). Eines der wichtigsten Klassifikationsmerkmale ist die Dimension der Initiative. Eine Interaktion kann demnach explizit, implizit oder *gemischt* erfolgen.

2.1.1 Explizite und implizite Interaktion sowie Koexistenz dieser Paradigmen

Generell lässt sich die Mensch-Umgebungs-Interaktion in zwei Typen klassifizieren: explizite oder implizite Interaktion. Implizite Interaktion kann nach *reaktivem* oder *proaktivem* Design gestaltet werden. Des Weiteren kann die Mensch-Umgebungs-

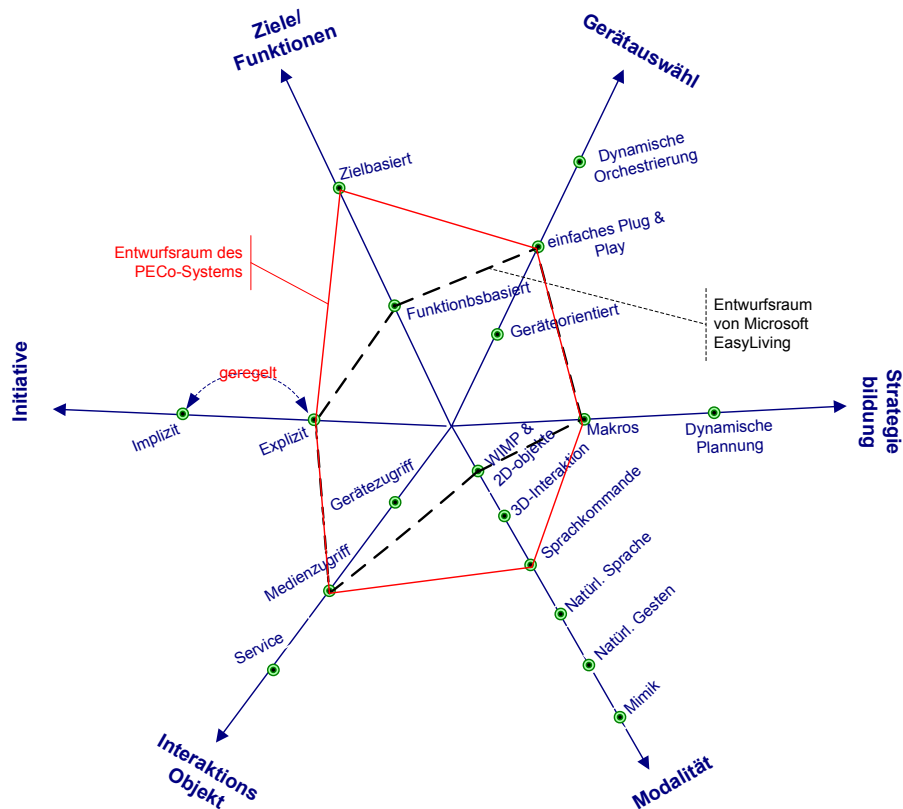


Abbildung 2.1: Ein multidimensionales Modell für die Klassifikation von Mensch-Umgebungs-Interaktion. Das Bild vergleicht den design space von zwei unterschiedlichen Interaktionssystemen. Eine 3-D-basierte, mobile Steuerungsassistentz [Naz04] mit der Raum-Steuerungskomponente des Microsoft EasyLiving [BMK⁺00b].

Interaktion aus einer geregelten impliziten und expliziten Interaktion bestehen, wobei der Nutzer sowohl mittels Assistenzsystemen interagieren kann als auch durch die Umgebung automatisch unterstützt wird. Implizit (inter)agierende Umgebungen nennen wir *adaptiv*, da diese sich auf die vorherrschende Situation sowie Bedürfnisse und Präferenzen des Benutzers adaptieren.

- **explizit:** Der Nutzer kann mittels kontextbewusster Assistenzsysteme auf einer intuitive Art und Weise mit seiner Umgebung interagieren (vgl. Abb. 2.2). Dabei bestimmt der Nutzer, *wann* und *was* geschehen soll. Die Eingaben des Nutzers erfolgen explizit.
- **implizit – reaktiv:** Die Umgebung *reagiert* nach dem Reiz-Reaktions-Prinzip auf die Situation des Nutzers und automatisiert einige Vorgänge. Hierbei geht es um ein Handeln „erst/nur auf Anstoß von außen, aufgrund von Fehlern, Mängeln, Forderungen, im Gegensatz zu aktivem oder proaktivem Handeln“ [Ver06]. Bei dieser Art der Interaktion bekommt das System keine direkten Nutzereingaben. Vielmehr aktivieren Nutzerverhalten und Umgebungszustände das Auslösen von Systemreaktionen. Demnach existiert ein *direkter* Zusammenhang zwischen Nutzerverhalten und Systemreaktion. Typisches Beispiel für eine reaktive Interaktion ist das automatische Öffnen von Türen, wie es in der Abbildung 2.3 zu sehen ist.



Abbildung 2.2: Eine explizite Interaktion mit der Umgebung mittels eines mobilen Assistenzsystems [Naz04]. Hierbei ist der Nutzer aktiv und hat die Kontrolle über seine Umgebung.

- **implizit - proaktiv:** Die Umgebung erkennt *vorausschauend* (durch die Analyse des Nutzerverhaltens und seiner Umgebung) mögliche Nutzerziele und schätzt seinen Bedarf an benötigter Unterstützung ab. Hierbei geht es um ein „frühzeitiges und differenziertes Vorbereiten auf mindestens zwei unterschiedliche Umweltkonstellationen oder bewusstes Gestalten ausgewählter strategischer Tatbestände ...“ (vgl. [Sch00], S. 13). Auslöser von Proaktivitäten sind demnach absehbare Nutzersituationen. Bei der proaktiven Interaktion erbringt die Umgebung dem Nutzer ihre Dienste *Initiative ergreifend*, also ohne dass vom Nutzer eine *unmittelbare* Eingabe ausgeht, welche einen direkten Zusammenhang zu den Proaktivitäten hätte. Diese Art des Interaktionsdesigns ist an eine Butler-Metapher angelehnt.
- **Koexistenz von implizit und explizit:** Des Weiteren können diese beiden Formen koexistieren, wenn z. B. der Nutzer explizite Assistenzsysteme in adaptive Umgebungen hineinträgt und dort zur *expliziten* Steuerung *derselben adaptiven* Umgebung einsetzt. Zur Vermeidung von Interaktionskonflikten werden Koordinierungsmechanismen benötigt. Im einfachsten Falle kann dies über Floor-Kontrolle erfolgen, wobei jeweils nur die adaptive Umgebung oder nur der persönliche Assistent aktiv wird. In anderen dynamischeren Formen kann zur Laufzeit die Zugriffskontrolle granular definiert und synchronisiert werden, beispielsweise auf Aktivitäts- oder Geräteebene. Demnach kann z. B. ein Assistenzsystem in einer Umgebung die Beleuchtung und die Multimedia-Steuerungs-Aufgaben übernehmen, während die reaktive Umgebung lediglich Aufgaben-bezogen auf die Klimaanlage durchführen darf.



Abbildung 2.3: Klassisches Beispiel für implizite Interaktion (Bild: AKUT - Scherer).

Zu den expliziten Interaktionssystemen zählen z. B. mobile Interaktionsassistenten, die auf persönlichen Geräten des Nutzers laufen und ihn so in verschiedenen Domänen begleiten und unterstützen. Beispiele hierfür sind das PECO System [Naz05d], u-Photo [SAI⁺05], Philips iPronto [Pro04], Sony InfoPoint [KRA01] oder das IBM Universal Information Appliance [ELM⁺99].

Eine explizite Interaktion kann auch mittels gesprochener Sprache und Gesten erfolgen, ohne dass der Benutzer zusätzliche Eingabegeräte benötigt.

Auch im Bereich der impliziten Interaktion existieren bereits signifikante Forschungsarbeiten [DLS01, Egg02, FOR04b, Jov03, PHNP05, RSC02b, SMLP01, SD02].

Gute Beispiele für Mischformen von expliziten und impliziten Interaktionen liefern die Projekte EMBASSI [KHS01a] sowie SIKOWO [FOR04a]. Umsetzungen des proaktiven Interaktionsparadigmas für die Mensch-Umgebungs-Interaktion gibt es selten. Das Aura-Projekt [SG01] hat die Vision einer solchen proaktiven Interaktion. Der Aura-Vision nach könnte das *Aura* einem Benutzers beispielsweise *vorausschauend* die benötigten Informationen beschaffen. Der Nutzer könnte des Weiteren mit seinem *Aura* über die natürliche Sprache interagieren und *explizit* auf Informationen und Dienste zugreifen.

Im Rahmen dieser Projekte hat der Nutzer *neben* einer expliziten Sprach- und Gesteninteraktion auch die Möglichkeit einer reaktiven Interaktion. Eine geregelte Koexistenz mit Konfliktmanagement bzw. Interaktionssynchronisation findet jedoch nicht statt.

2.1.2 Zielbasiert und funktionsbasiert

Auf dieser Dimension werden zur Klassifikation der Mensch-Umgebungs-Interaktion die Eingaben des Benutzers in Funktionen (Aktionen) und Nutzerziele eingeordnet, welche man gegenüber einem Interaktionssystem äußert. Beispiele für Funktionen sind Ausschalten, Einschalten oder Stumm-schalten etc. In der Regel kann dabei eine Funktion auf eine Operation eines real existierenden Gerätes gemappt werden. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn der Nutzer das Gerät sieht, welcher auch als solches in seinem mentalen Modell existiert, und wenn er dessen Funktionalitäten kennt [Sen04]. Nicht immer lässt sich die geäußerte Funktion auf eine Operation abbilden. Es kann sich bei einer geäußerten Funktion z. B. um Operationen eines abstrakten Gerätes handeln, das zwar im mentalen Modell des Benutzers existiert, sich aber nicht in der aktuellen Umgebung des Benutzers befindet oder die gewünschte Funktionalität anbietet. So kann der Anwender beispielsweise die Funktion „DVD kopieren“ äußern, obwohl kein DVD-Kopierer sondern sich nur ein DVD-Player in seiner Umgebung befindet. Folglich kann in so einem Falle diese Funktion nicht direkt auf Operationen eines einzigen Gerätes abgebildet werden. Stattdessen könnte ein Geräteverbund diese Funktion ausführen.

Im Gegensatz zur funktionsbasierten Interaktion äußert sich der Benutzer bei einer zielbasierten Interaktion in Form von definierten Umgebungszuständen, welche durch die Ausführung einer Operationsmenge erreicht werden können. Dabei interessiert sich der Nutzer in der Regel nicht dafür, durch welche Operationsmenge – auch Strategie genannt – das gewünschte Ziel erreicht wird. So kann der Benutzer das „Heller werden“ seiner Umgebung wünschen, ohne zu bestimmen, ob es z. B. durch Anschalten einer Lampe oder Öffnen von Jalousien geschehen soll (vgl. Abb. 2.4). Beispiele für weitere Ziele können „Präsentieren der letzten Umsätze“, „Darstellung eines Dokumentes“, oder auch das Beschaffen einer bestimmten Information (z. B. aktuelle Aktienkurse) sein, ohne dabei zu bestimmen, woher diese beschafft und in welcher Form sie präsentiert werden soll.



Abbildung 2.4: Explizite, zielbasierte Interaktion mit AmI-Umgebungen im Projekt EM-BASSI [KHS01a].

Es existiert eine „Korrelation“ zwischen der Art von Nutzeräußerungen (Zielen oder Funktionen) sowie der Art der Geräteauswahl (vgl. Kapitel 2.1.3), um die

gewünschten Funktionen und Zielen auszuführen (vgl. [Sen04]). Eine Studie zeigt, dass je mehr die Geräte in den Hintergrund verschwinden, desto mehr die Nutzer in Zustandsräumen denken und sich folglich in Form von Zielen ausdrücken. Hierbei tritt die Umgebung im mentalen Modell des Nutzers als ein Ganzes auf. Es existiert dann die instrumentierte Umgebung als ein abstraktes Gerät, mit dem er zielbasiert interagieren kann (vgl. [Sen04]).

2.1.3 Geräteorientiert oder dynamische Ensembles

Die Dimension der *Geräteauswahl* unterscheidet die Mensch-Umgebungs-Interaktion danach, ob ein Benutzer ein Gerät direkt auswählt, welches die von ihm gewünschten Funktionen und Ziele ausführen soll, oder ob die Auswahl von Geräten *selbstorganisiert* erfolgt. Im Gegensatz zu einer manuellen Auswahl von Geräten äußert der Nutzer seine Ziele gegenüber seiner Umgebung und nimmt sie in seinem mentalen Modell als einen Geräteverbund wahr (vgl. [Sen04]). Hierbei orchestrieren sich die Geräte der Umgebung spontan und bilden so dynamische Ensembles (vgl. [EK05]), um die Ziele des Nutzers zu erreichen.

Ein Beispiel für eine funktionsbasierte, geräteorientierte Mensch-Umgebungs-Interaktion ist das Zeigen auf eine bestimmte Lampe und Sprechen des Kommandos „ausschalten“ (vgl. [FOR04a]). In einer etwas dynamischeren Form der Interaktion bestimmt der Nutzer lediglich den Typ des Gerätes, welches eine von ihm gewünschte Funktion ausführen soll. So kann der Nutzer bestimmen, dass die Umgebung durch die Benutzung eines Dimmers „heller“ werden soll und dass seine Präsentationsdatei von einem Projektor und nicht von einem Laptop dargestellt werden soll. Dabei kann das entsprechende Gerät dynamisch (über Device Discovery sowie *Plug & Play*) ausgewählt werden (vgl. [Naz05c]).

Betrachtet man als Beispiel das Bremsen in einem Kraftfahrzeug. So kann man üblicherweise zwei Typen von Bremssystemen feststellen. Zum einen eine Handbremse, welche bei Tätigkeit sofort wirkt und deren Wirkung sich proportional dazu verhält, wie stark man die Handbremse angezogen hat. In diesem Sinne handelt der Nutzer mit einer Handbremse *explizit*, weil die Initiative vom Nutzer ausgeht. Weiter ist diese Interaktion *Geräteorientiert*, weil der Nutzer *direkt* diese Handbremse und nicht die sonstigen verfügbaren Bremssysteme ausgewählt hat. Dabei geht der Nutzer funktionsorientiert vor. Mögliche Funktionen sind *Bremsen* und „Loslösen“.

Im Gegensatz dazu verhält sich ein Bremssystem bestehend aus einem Elektronischen Stabilitätsprogramm (ESP), einem Anti-Schlupf-System (ASR), einer Elektronischen Bremskraftverteilung (EBV) sowie einem Adaptiven Bremssystem (ABS) bei Tätigkeit des Bremspedals völlig anders. Dabei hat der Nutzer kaum die Möglichkeit, die auszuführenden Funktionen zu bestimmen. Vielmehr findet eine explizite, zielbasierte Interaktion mit dem dynamischen Bremssystem-Ensemble statt, wobei die Bremsstrategie dynamisch gebildet wird.

Der Nutzer äußert durch Treten des Bremspedals sein Ziel einer negativen Beschleunigung des Fahrzeuges. Er interagiert explizit, weil durch den Nutzer bestimmt wird, wann das Fahrzeug anfängt zu bremsen. Das Bremsen erfolgt zielbasiert, weil der Nutzer nicht weiß, durch welche Funktionen das Fahrzeug gebremst wird, son-

dern nur dass es bremst! Dabei bestimmt das Fahrzeug je nach Situation, etwa nach Kurvenlage, Fahrbahnhaftung, Wetterlage und Geschwindigkeit, mit welcher Stärke und Technik gebremst werden soll. Auch bestimmt das Fahrzeug, wann welche Räder bremsen sollen, um so das Fahrzeug auch beim Bremsen in Kurven stabil zu halten. Folglich ist diese Art der Mensch-Auto-Interaktion eine zielbasierte, wobei die Strategie des Bremsens dynamisch geplant wird. Beim Bremsen kommen je nach Situation unterschiedliche Bremssysteme zum Einsatz, welche in diesem Sinne eine dynamische Gruppe von Bremssystemen bilden.

Zwischen der Form der Geräteauswahl besteht eine „Korrelation“ zu einer weiteren Dimension, die untersucht, ob eine Strategie (Operationsmenge) zur Zielausführung dynamisch oder statisch gebildet wird (vgl. Kapitel 2.1.4).

2.1.4 Makros und dynamische Strategieplanung

Auf der Dimension der Strategiebildung wird hauptsächlich die Mensch-Umgebungs-Interaktion danach unterschieden, ob Funktionsmengen zur Umsetzung eines Zieles dynamisch oder statisch gebildet werden. Hierbei geht es nicht um die Art der Geräteauswahl, also um eine Funktionsmenge auf Geräten abzubilden (vgl. Kapitel 2.1.3).

Bei einem *Makro* werden die Ziele des Nutzers stets durch die Ausführung derselben Funktionsmenge erreicht. So werden nach der Zieläußerung „heller“ beispielsweise immer nur alle Lampen eingeschaltet und Rollläden geöffnet. Eventuell neue Typen von Geräten – z. B. dimmbare Stehlampen – werden dabei nicht berücksichtigt.

Im Gegensatz zu Makros wird bei einer *dynamischen Planung* bzw. Strategiebildung je nach Möglichkeiten einer Umgebung und unter Berücksichtigung von Nutzerpräferenzen ein Plan zur Zielumsetzung gebildet. Diese Strategie kann dann auf Operationen eines dynamischen Ensembles abgebildet werden. Dabei bestimmt die Umgebung, wie eine Strategie für Nutzerziele gebildet wird. So kann die Umgebung beispielsweise für die Ausführung des Zieles „Präsentieren der letzten Umsätze“ eine digitale Präsentation auf einem Projektor auswählen oder aber passende Grafiken ausdrucken und zusätzlich die digitalen Zahlen jedem Benutzer per E-Mail zusenden.

Beispiele für eine *zielbasierte* Interaktion mittels *Makros* liefern [Naz05c, Naz05d]. So kann ein Benutzer eine PowerPoint-Datei per Drag & Drop auf ein entsprechendes „Präsentationsmakro“ seines Bedienassistenten ziehen (vgl. hierzu [Naz05c, Naz05d]). Daraufhin bildet der Bedienassistent eine statische *Funktionsmenge* auf Operationen von Gerätetypen ab, zu deren Ausführung zunächst passende Geräte per *Plug & Play* und Device Discovery (z. B. ein Projektionsgerät mit Präsentationsdienst) ausgewählt werden.

2.1.5 Eingabemodalitäten

Zur Klassifikation von Mensch-Umgebungs-Interaktion können auf dieser Dimension die eingesetzten Modalitäten für Nutzereingaben sowie Systemausgaben herangezogen werden. Dabei können die Modalitäten auf herkömmlichen 2D GUI (WIMP) basieren. Eine besondere intuitive Eingabemodalität – insbesondere für *Device Se-*

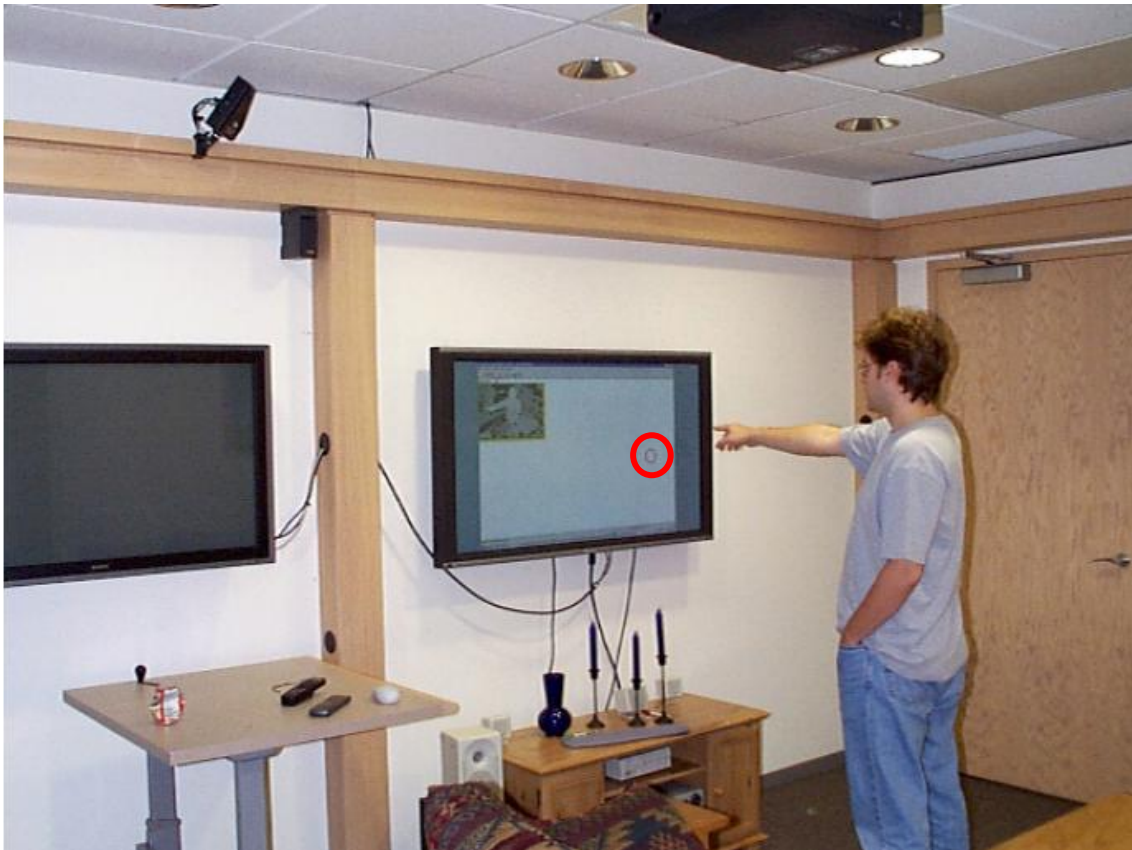


Abbildung 2.5: Explizite gestenbasierte Interaktion mit Diensten (Bild: Microsoft)

lection – bieten 3-D-Interaktionselemente. Hierzu gehören z. B. Pen-basierte Interaktionen in 3-D-Szenen. Auch hardwarebasierte Gesteneingaben sowie Infrarot- oder Laser-basierte Pointing-Geräte bieten Eingabemöglichkeiten in einem 3-dimensionalen Raum. Sprachkommandos, natürliche (gesprochene) Sprache, natürliche Gesten (vgl. Abb. 4.3) von Menschen sowie Mimik-Interaktion sind weitere Modalitäten.

2.1.6 Geräte-, Medien- und Dienstezugriff

Auf einer der wichtigsten Dimensionen wird die Mensch-Umgebungs-Interaktion nach dem *Interaktionsobjekt* klassifiziert. Dabei wird zwischen Systemen zum Gerätezugriff, Medienzugriff oder Dienstezugriff unterschieden.

Je nach Interaktionsobjekt kann die *Intuitivität* einer Bedienmetapher oder die Praktikabilität einer für die Nutzereingabe erforderlichen Modalität stark variieren. So mag eine Sprachkommando-basierte Interaktion mit einem Wetterabfragedienst beim Fahren intuitiv sein. Im Gegensatz dazu können Nutzer eine Sprachkommando-basierte Auswahl von Geräten oder das Browsen von Dokumenten in Präsentationssituationen nicht intuitiv empfinden.

2.2 Zusammenfassung und Abgrenzung

Als wichtigen Beitrag zu dieser Arbeit liefert dieses Kapitel ein mehrdimensionales Klassifikationsmodell für die Interaktion in adaptiven Medienräumen. Es beschreibt die unterschiedlichen Dimensionen der Interaktion und skizziert den Gestaltungs-

raum für Interaktionssysteme. Dadurch erleichtert das Modell den Entwurf von geeigneten Interaktionsmodellen.

Im Gegensatz zu anderen Klassifikationsmodellen betrachten wir die Mensch-Umgebungs-Interaktion in sechs unterschiedlichen Dimensionen. Diese Multidimensionalität ist neuartig. Es existieren keine vergleichbaren Modelle. Das vorgestellte Modell unterstützt im Gegensatz zu [SKH05] und [She88] eine weitergehende und detaillierte Klassifikation von Mensch-Umgebungs-Interaktion. Ein weiterer wichtiger Vorteil des vorliegenden Modells ist die Detaillierungsgrad auf jeder Dimension. So betrachten wir zum Beispiel auf der Dimension der Initiative auch den Fall, in dem eine explizite und implizite Interaktion koexistieren können. Die Dimensionen für Geräteauswahl und Strategiebildung sind neuartig und kommen in den existierenden Klassifikationsmodellen so nicht vor. Als ein weiterer Vorteil dieses Modells gegenüber existierenden Modellen kann die Betrachtung der Korrelationen zwischen den unterschiedlichen Dimensionen der Mensch-Umgebungs-Interaktion genannt werden. Neuheit ist Des Weiteren ist das vorliegende Modell spezifisch für die Mensch-Umgebungs-Interaktion, während sich [She88] auf Desktop-Interaktion bezieht.

Während Sheridan und Schmidt hauptsächlich die Art der Automatisierung (Initiative, Automatisierungsgrad, *Interaktionstransparenz*) berücksichtigen, behandelt das präsentierte Modell weitere wichtige Aspekte der Mensch-Umgebungs-Interaktion. Nach Sheridan unterscheidet sich ein Assistenzsystem zur zielbasierten Steuerung von Geräte-Ensembles nicht von einem System, das eine rein funktionsbasierte Steuerung von einzelnen Geräten erlaubt. Aus der Sicht des Mensch-Umgebungs-Interaktion stellen jedoch diese Systeme – aufgrund der dargestellten unterschiedlichen Interaktionsparadigmen – völlig unterschiedliche Systeme dar und können deshalb mit den existierenden Modellen nicht genauer klassifiziert werden.

Nach Sheridan (vgl. [She88]) kann die Interaktion nur auf den Dimensionen Initiative und Automatisierungsgrad klassifiziert werden. Demnach kann bei der Mensch-Umgebungs-Interaktion die Initiative vom System ausgehen oder vom Benutzer ergriffen werden. Auf der Dimension des Automatisierungsgrads klassifiziert Sheridan Assistenzsysteme danach, inwieweit eine Aufgabe vom System übernommen wird. So kann ein System z. B. informieren, Lösungswege vorschlagen oder auch vollautomatisch eine Aufgabe ausführen. Auch der Grad der Adaptivität ist ein Merkmal, das unterschiedlich ausgeprägt sein kann. Ein adaptives System passt sich von sich aus dem Benutzer an. Ein adaptierbares System hingegen kann vom Benutzer nach seinen Wünschen eingerichtet werden (vgl. [NWzK03]).

Schmidt et al. stellen in [SKH05] ein Modell vor, nachdem die Interaktion des Nutzers mit seiner Umgebung klassifiziert werden kann. Darin unterscheiden die Autoren, wie transparent der Nutzer ein System benutzt (*explicite use and implicite use*). Dabei kann die Interaktion über ganz nahtlos in der Umgebung eingebettete Geräte erfolgen oder über Interaktionsgeräte ablaufen. Als Beispiel werden schon länger automatische Türsysteme in unseren Umgebungen nahtlos integriert. Der Benutzer kann solche Türen *implizit benutzen*, indem er einfach hindurch läuft und die Tür sich automatisch öffnet. Er kann es aber auch *explizit benutzen*, indem er einen

Gegenstand vor die Tür hält, damit die Tür geöffnet bleibt.

3 Anforderungsanalyse

Ausgehend von der Aufgabenstellung werden in diesem Kapitel die Anforderungen an die Mensch-Umgebungs-Interaktion abgeleitet. Dabei wird der Fokus auf ein Bedienungskonzept gelegt, das einen intuitiven Zugang zu AmI-Umgebungen ermöglichen soll. Als Ergebnis dieses Kapitels werden Bedingungen aufgestellt, die eine intuitive Interaktion in AmI-Umgebungen ermöglichen. Die Anforderungen leiten sich von den in Kapitel 1.1 erläuterten Problem- und Fragestellungen ab. Ziel ist eine erhöhte Nutzerakzeptanz für Interaktionen in AmI-Umgebungen durch die Erfüllung der Anforderungen.

Dieses Kapitel gliedert sich in drei Bereiche. Im ersten Bereich werden die allgemeinen Anforderungen an die Mensch-Umgebungs-Interaktion erhoben. Dazu werden theoretische und empirische Begründungen analysiert. Durch die Analysen und Diskussionen werden Probleme identifiziert und als Anforderungen formuliert. Hierbei stehen die im Kapitel 1.1.2 beschriebenen allgemeinen Interaktionsprobleme im Vordergrund. Insbesondere wird in diesem Bereich argumentiert, wie die folgenden Aspekte bei der Entwicklung von Interaktionssystemen berücksichtigt werden sollen:

- wachsende Komplexität von AmI-Umgebungen
- fehlende Benutzerkontrolle über adaptive AmI-Umgebungen („lack of control“)
- besondere Herausforderungen von „verschwindenden“ Geräten und Bedienoberflächen

Diese Begründungen zeigen auf, unter welchen Voraussetzungen eine effektive Interaktion in AmI-Umgebungen erreicht und die Nutzerakzeptanz erhöht werden kann. Vor allem werden Voraussetzungen für eine kognitive Entlastung des Nutzers durch intuitive Mensch-Umgebungs-Schnittstellen diskutiert.

Der zweite Bereich befasst sich mit speziellen Anforderungen an die Mensch-Umgebungs-Interaktion, die sich durch den besonderen hybriden Ansatz ergeben. Im Vordergrund steht hierbei zum einen das im Kapitel 1.1.5 beschriebene Problem von fehlenden intuitiven Auswahl- und Steuerungsmöglichkeit von Geräten in unbekannten komplexen Umgebungen. Zum anderen geht es dabei um das im Kapitel 1.1.4 diskutierte Problem der fehlenden Koexistenz zwischen expliziten Steuerungsassistenzen auf der einen und adaptiven Umgebungen auf der anderen Seite.

Der letzte Bereich befasst sich mit technisch motivierten Anforderungen. Im Vordergrund steht hierbei unter anderem das in Kapitel 1.1.6 beschriebene Problem von existierenden Assistenzsystemen, sich dynamisch mit intelligenten Umgebungen zu synchronisieren. Diese Anforderungen adressieren ein Systemkonzept und die damit

verbundenen technischen Problemstellungen.

Die Gliederung der Anforderungen in die unterschiedlichen Kategorien ergibt eine logische Darstellung bezüglich der Aufgabenstellung. Die formulierten Anforderungen formen einen Anforderungskatalog und stellen einen wichtigen Beitrag dieser Arbeit zum Forschungsthema Mensch-Umgebungs-Interaktion dar. In den nächsten Kapiteln werden sie zur Erstellung von Konzepten und Modellen herangezogen.

3.1 Allgemeine Anforderungen

Es werden immer mehr intelligente Geräte in der Umgebung des Nutzers integriert, welche mit zunehmender Miniaturisierung im Hintergrund verschwinden. Dabei soll die Komplexität der Umgebung und die hohe Anzahl von intelligenten Geräten den Nutzer nicht von seinen eigentlichen Aufgaben ablenken. Der Nutzer soll nicht durch die erforderlichen Bedienungsaufgaben kognitiv überlastet werden.

Eine große Herausforderung für intelligente Umgebungen stellen die Fähigkeiten des Nutzers beim Gebrauch solch umfangreicher, eingebetteter Systeme dar (vgl. Abb. 3.1). Je mehr „intelligente“ Technik verfügbar ist und je größer die Herausforderung für den Nutzer wird, Herr über seine Alltagsumgebung zu bleiben, desto mehr sinkt die Akzeptanz für solche neuen Geräte.

In diesem Kapitel sollen diese Herausforderungen näher analysiert und daraus Anforderungen formuliert werden, damit die Interaktion zwischen dem Menschen und seiner Umgebung *intuitiv* gestaltet werden kann.

Don Norman (1983) schreibt in einem seiner viel beachteten Artikeln, dass Menschen durch die Wechselwirkung mit ihrer Umgebung *mentale Modelle* bilden. Durch eine inter-personelle Interaktion sowie durch Umgang mit technischen Artefakten bilden wir kognitive Modelle über uns selbst und über die Gegenstände, mit denen wir interagiert haben (vgl. [Nor83]). Michael Sengpiel [Sen04] vergleicht ausführlich die unterschiedlichen Definitionen von mentalen Modellen. Weiter untersucht er in seiner Arbeit die Interaktion in intelligenten Systemen und wie die Bildung von mentalen Modellen durch die Art der dabei stattfindenden Mensch-Umgebungs-Interaktion beeinflusst wird. In diesem Kapitel stellen wir einige Aspekte über die Theorien von mentalen Modellen heraus, um daraus Anforderungen an die Mensch-Umgebungs-Interaktion zu gewinnen. Dabei stützt diese Arbeit ihre Aussagen hauptsächlich auf die Ergebnisse von [Sen04, Nor83].

Carroll und Olson (1987) beschreiben, dass wir mentale Modelle über Systeme bilden. Dabei zeichnen sich diese Modelle durch eine wohlgeformte Struktur aus und spiegeln unser Verständnis über das System sowie über dessen Funktionsumfang und Nutzungsweise wider (vgl. [JJ87]).

Sasse identifiziert vier zentrale Annahmen, welche in einer Vielzahl unterschiedlicher Theorien mentaler Modelle zu finden sind (vgl. Sasse, 1997 [Sas97, Sen04]):

- Benutzer generieren ein mentales Modell der internen Zusammenhänge des Systems, mit welchem sie interagieren;
- Inhalt und Struktur dieses mentalen Modells beeinflussen, wie der Benutzer



Abbildung 3.1: Gebrauch von komplexen Systemen ist eine kognitive Herausforderung für den Nutzer und lenkt ihn von seinen eigentlichen Aufgaben ab. Vor allem wird dies verursacht durch die Vielzahl von Geräten und wachsende Funktionalität (Bild: Philips).

mit dem System umgeht;

- Inhalt und Struktur des mentalen Modells können durch die Auswahl und Art der Präsentation der Information beeinflusst werden, welche dem Benutzer über das System gegeben wird;
- Detaillierteres Wissen über die Art und Weise, wie Benutzer mentale Modelle konstruieren und modifizieren, könnte genutzt werden, um Leitlinien für die Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen und von Trainingsmaßnahmen aufzustellen, die dem Benutzer helfen, angemessene Modelle zu bilden. Dies wäre ein bedeutsamer Beitrag für HCI.

Es gilt also, die Entwicklung eines solchen Modells zu unterstützen, damit der Nutzer sein Vorhaben zunächst auf mentaler Ebene überprüfen kann, bevor er dies in Form von Aktionen physikalisch ausführt (vgl. [JJ87], S. 12).

Mentale Modelle sind auch Ausdruck des Verstehens eines Ausschnittes der realen Welt (vgl. Dutke, 1994 [Dut94]). Sie sind gleichzeitig Grundlage zur Planung und Steuerung von Handlungen. Individuelle mentale Modelle können ihre eigenen Schwerpunkte aufweisen: manche sind stärker verstehensorientiert, andere eher handlungsorientiert (vgl. Dutke, 1994 [Dut94], S. 2).

Von den oben geführten Diskussionen leiten wir die Anforderung ab, dass ein

Bedienungskonzept ein adäquates System Image (Systemrepräsentation) anbieten soll. Das Bedienungskonzept muss die Bildung eines geeigneten mentalen Konzeptes unterstützen. Weitere Anforderung ist, dass dabei ein Bedienungskonzept für AmI-Umgebungen sowohl durch Anschauen des *system image* als auch durch explorative Steuerung der Umgebung die Bildung eines adäquaten mentalen Konzeptes erlauben soll. Hiermit sollen unterschiedliche Individuen ein passendes mentales Modell über die Umgebung bilden können, auch wenn sie unterschiedliche Schwerpunkte in ihrem mentalen Modell aufweisen.

Ist uns die Benutzung einer Umgebung neu, kann ihre Bedienung zum Problem werden, denn das muss zunächst erlernt werden. Demnach stellen wir die weitere Anforderung, dass durch Anschauen einer Systemrepräsentation sowie durch explorative Nutzung des Systems dessen Funktionsumfang und Nutzungsweise für den Nutzer leicht erfassbar sein sollen. Während explorative Interaktion durch die meisten existierenden Interaktionssysteme ermöglicht wird, fehlen derzeit Bedienungskonzepte, die ein adäquates System Image anbieten, welches die intelligente Umgebung derart repräsentieren kann, dass dessen Funktionsumfang und Nutzungsweise durch verstehensorientiertes Vorgehen von Personen entdeckt werden kann. Dies erfordert, dass das User Interface bzw. Bedienungskonzept die Anforderungen an *Affordances und Visibility* (vgl. D. Norman, 1988 [Don88]) erfüllt.

3.1.1 Verbergen der Umgebungskomplexität und Vermeidung von kognitiver Überlastung

Eines der im Kapitel 1.1.2 identifizierten Probleme der Mensch-Umgebungs-Interaktion in AmI-Umgebungen ist die wachsende Komplexität der Umgebung. Dies ist vor allem durch die Vielzahl der vorhandenen Geräte und die stetig wachsende funktionale Komplexität begründet. Die Folge ist eine kognitive Überlastung des Nutzers, wenn er in solchen Umgebungen mit herkömmlichen Interaktionslösungen handeln soll. Der Anwender soll sich stattdessen auf seine eigene Aktivitäten konzentrieren. Die Steuerung der Umgebung soll *intuitiv* ablaufen, ohne den Nutzer dabei zu belasten.

Verteilte Multimedia-Applikationen und die Verarbeitung von Medien auf stationären Geräten und mobilen Appliances werden eine signifikante Rolle in der Entwicklung von Ambient Intelligence spielen [Dim04]. Dimitrova (2004) beschreibt in seinem visionären Artikel zur Ambient Intelligence, dass die Komplexität der Medien in Bezug auf Größe und Funktionalität stetig steigen werden. Deshalb werden neue Bedienungskonzepte im Sinne von einfacher Handhabung und „simplicity“ benötigt. Der durch AmI verfolgte Ansatz, Medien massiv-verteilt und ubiquitär zu nutzen, erfordert eine Ersetzung der herkömmlichen Interaktionssysteme wie z. B. menü-basierte Fernsteuerung durch neue, intuitive und natürliche Interaktionsformen [Dim04]. Hauptaugenmerk dabei liegt darin, die wachsende Komplexität der Umgebung vom Nutzer fernzuhalten. Ein Bedienungskonzept muss auf der einen Seite die Komplexität des Systems verbergen und es zugleich erlauben, einen bestimmten Zielzustand herbeiführen zu können (vgl. Yates und Weld, 2003 [YEW03b]). Dabei muss das System einfach zu bedienen sein. Der Nutzer muss auf Antrieb er-

mitteln können, welche Ziele und Funktionen mit dem jeweiligen System zu erreichen sind.



Abbildung 3.2: Geräte verschwinden in den Hintergrund (Bild: Philips)

3.1.2 Bedienung von Geräten ohne eigene Benutzungsschnittstelle und von unsichtbaren Objekten

Eine charakteristische Eigenschaft von Ambient Intelligence ist die *Transparency* der Umgebung. Nach Dimitrova (2004) bedeutet *Transparency* „that the surrounding systems are invisible und unobtrusive“ (vgl. Abb. 3.2). Das neue Paradigma von Ambient Intelligence lässt die elektronischen Geräte in den Hintergrund verschwinden, was eine direkte Interaktion mit diesen Geräten über deren eigene Schnittstellen nicht mehr zulässt. Außerdem bieten viele intelligente Alltagsgegenstände nur noch sehr eingeschränkte eigene Schnittstellen sowie Eingabe- und Ausgabemöglichkeiten an. Wenn aber die Technologie in den Hintergrund unserer Umgebung integriert werden soll, dann müssen wir Konzepte entwickeln, welche eine einfache, intelligente und sinnvolle Interaktion mit AmI-Umgebungen unterstützen [Dim04, Min01]. Dimitrova (2004) sowie auch Cameron Miner (2001) argumentieren, dass neuartige „virtuelle Geräte“ benötigt werden, um eine natürliche und intuitive Interaktion mit den unsichtbaren Geräten zu ermöglichen [Dim04, Min01].

Eine Analyse von Multimedia-Arbeitsumgebungen ergab (vgl. Nazari, 2006 [Naz06c]), dass Gegenstände mit eingebetteter Technologie aufgrund fehlender bzw. komplexer Benutzungsschnittstellen von den Menschen nicht eingesetzt werden, weil der mit einer Nutzung verbundene Aufwand für die Bedienung des jeweiligen Gerätes den

Nutzer kognitiv überlastet oder seinen Arbeitsfluss unterbricht. In der Folge wird der Nutzer von den eigentlichen Aufgaben abgelenkt, was allgemein die Akzeptanz für solche Geräte verringert.

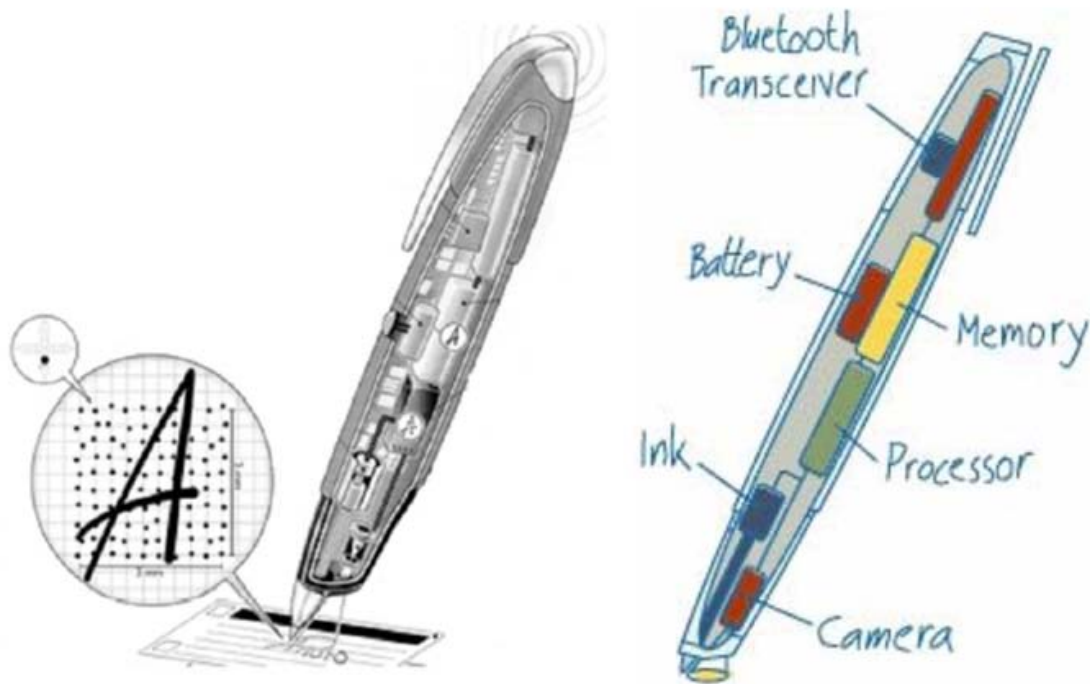


Abbildung 3.3: *Ubiquity* und *Transparency* von Ambient Intelligence (vgl. Dimitrova (2004) [Dim04]): Viele Alltagsgegenstände haben keine adäquaten Benutzungsschnittstellen. Der Nutzer kann durch bloßes Hinschauen nicht die Funktionsweise bzw. Nutzungsweise verstehen (*Affordances* und *Visibility*, vgl. Norman (1983), [Nor83]).

Aus der oben geführten Diskussion wird die Anforderung abgeleitet, dass ein Interaktionssystem auch den Zugriff auf die Geräte ermöglichen soll, welche unsichtbar für den Nutzer in den Hintergrund eingebaut sind. Ebenfalls müssen miniaturisierte Geräte und intelligente Alltagsgegenstände als solche erkannt und *leicht* benutzt werden können.

Dabei wird die Anforderung nach wie vor aufrecht erhalten, dass die Bildung eines mentalen Modells sowie die Forderung nach *Affordances* und *Visibility* für eine gelungene Mensch-Umgebungs-Interaktion unerlässlich sind (vgl. Norman, 1983 [Nor83]). Demnach muss ein Bedienungskonzept dem Nutzer erlauben, seine Umgebung zu erkunden und sich ein Bild davon schaffen zu können, was er in der Umgebung tun kann und wie er sie zu bedienen hat.

Zunächst einmal steht die Forderung nach *Transparency*-Eigenschaften [Dim04] bei miniaturisierten Gegenständen – wie z. B. ein digitaler Stift (vgl. Abb. 3.3) – im Gegensatz zu der Forderung nach *Affordances*, welche die Bildung eines mentalen Modells über das System ermöglichen (vgl. *affordances*, Norman, 1983 [Nor83]). Es bleibt noch die Frage, wie der Nutzer ein geeignetes mentales Modell des zu benutzenden Systems bilden kann, wenn er das Gerät oder dessen Benutzungsschnittstelle nicht sieht. Dieses Problem soll im Rahmen dieser Arbeit gelöst werden.

3.1.3 Kontextabhängige Darstellung

Die zeitliche und räumliche Darstellung von Informationsinhalten und Datenquellen kann zu einer kognitiven Überlastung führen [Fin06]. In der Forschungsliteratur ist eine signifikante Menge von Arbeiten zu finden, welche Theorien hierzu entwickelt hat. Dabei geht es hauptsächlich um den *split-attention effekt* und kognitive Überlastung [Joh94, Joh99, N. 96]. Aufbauend auf diesen Theorien hat Mayer ausführliche Experimente durchgeführt und auf dieser Grundlage Gestaltungsregeln aufgestellt [May01]. Diese *spatial and temporal contiguity principles* beziehen sich darauf, dass je näher die räumliche und zeitliche Anordnung von assoziierten Interaktionsentitäten ist, desto geringer auch die kognitive Leistung wird, welche bei der Durchführung einer expliziten Interaktion entsteht. Hierbei können Interaktionsentitäten beispielsweise Geräte und Medien, Funktionen und Ziele sowie Aufgaben und Nutzersituation sein. Ein Split-Attention-Effekt kann beispielsweise auftreten, wenn ein Nutzer sich in einem Präsentationsszenario in einem komplexen Meetingraum befindet und dort seine Folien auf einem verfügbaren Ausgabegerät wiedergeben möchte. Dabei kann er über eine Schnittstelle die Entität „Präsentation Starten“ auswählen. Diese muss aber noch mit einer bestimmten Datei und dem Display verknüpft werden.

Wenn die Benutzungsschnittstelle nun alle verfügbaren Grafiken, Folien, Musikdateien und Videos sowie alle möglichen Geräte zur Auswahl anbietet, dann kann ein Split-Attention-Effect auftreten. Denn der Nutzer muss zunächst die benötigte Datei suchen und auswählen, weiter muss er ein passendes Display finden und aktivieren können. Hierbei sind mehrere weitere Schritte notwendig, welche die Gesamt-Interaktions-Zeit und die kognitive Belastung erhöhen. Diese Größen können verringert werden, wenn die Benutzungsschnittstelle je nach vom Nutzer beabsichtigter Aktivität die passenden Dokumenttypen und Gerätetypen vorsortiert. In unserem Beispiel müssten nur Folien und Displays angezeigt werden und Briefe, Tabellen, Musik etc. ausgeblendet werden, weil diese üblicherweise mit einer „Präsentation“ nicht in Verbindung gebracht werden.

3.2 Anforderungen an die Mensch-Umgebungs-Schnittstelle

In diesem Kapitel werden spezifische Anforderungen an die Mensch-Umgebungs-Interaktion abgeleitet, welche sich durch den besonderen Ansatz eines hybriden Bedienungskonzepts dieser Thesis ergeben. Diese betreffen zum einen die intuitive Geräteauswahl und explizite Interaktion mittels eines mobilen Assistenten. Zum anderen geht es um das hybride Bedienungskonzept selbst sowie die Koexistenz zwischen mobiler Assistenz und adaptiven Umgebungen. Weiter werden spezifische Anforderungen an leichte Bedienung und Erlernung sowie nachvollziehbare Systemreaktionen behandelt. Insbesondere wird auch der Einsatz von *mobilen Endgeräten* zwecks manueller Selektion von Objekten diskutiert und begründet.



Abbildung 3.4: Mobile Endgeräte bieten eine Systemdarstellung und Interaktionsmöglichkeit mit adaptiven Umgebungen (Bild: Philips Research).

3.2.1 Einsatz von persönlichen mobilen Steuerungsassistenzen

Ailisto und Strömmer (2006) beschreiben in [AIPV+06], dass die Entwicklung von Ambient Intelligence *mobile device centric* sein wird. Anstelle der Umgebung ein Bewusstsein über den Nutzer und seine Bedürfnisse zu geben, sollen die persönlichen mobilen Geräte des Nutzers ein Bewusstsein über vorhandene „intelligent affordances in the physical environment“ entwickeln, um diese „intelligent affordances“ im Sinne des Nutzers zu instrumentalisieren (vgl. [AIPV+06], S. 333). Als eine Unterstützung dieser These nehmen Ailisto und Strömmer (2006) die neuen Entwicklungen im *near field communication forum* (NFC) zu Hilfe. Das NFC – bestehend aus Nokia, Philips und Sony – entwickelt Technologien und Standards für lokale Konnektivität mit verschiedenen Objekten. Ziel ist es, ein Mapping zwischen der physischen und der virtuellen Welt mit Hilfe von mobilen Endgeräten zu ermöglichen.

Dieser Trend ist beispielsweise auch in dem „Hello.Wall“-System zu sehen, in dem Benutzer sich durch die Anwendung von mobilen Endgeräten das *system image* der Umgebung ausleihen und darüber mit *smart artefacts* interagieren können.

Diese Argumentation wird auch von Dimitrova (2004) (vgl. [Dim04], S. 16) unterstützt. Sie identifiziert besonders wichtige technische Herausforderungen an Algorithmen für Adaptivität einer Umgebung sowie an eine natürliche Gesten- und Sprachinteraktion. Weiter thematisiert sie das Problem von Überautomatisierung und Kontrollverlust in AmI-Umgebungen, welche durch den Einsatz von *Butler-Metaphern* entstehen kann (vgl. Abb. 3.5). Diese grundlegenden und konzeptionellen Probleme sprechen an sich gegen eine ausschließliche Interaktion über der Butler-Metapher. Auch die von Dimitrova geforderte Eigenschaft der *Social Interaktion*

von intelligenten Umgebungen steht nicht im Einklang mit den von ihr identifizierten Problemen wie z. B. der Überautomatisierung oder des Kontrollverlustes (vgl. [Dim04], S. 16). Dabei erarbeitete Dimitrova die potentiellen Fragen eines Systemnutzers unter anderem folgendermaßen: „*Can I keep control, or will it take over? ... and do I want it, anyway?*“. Diese Fragen sind mit der Natur der Butler-Metapher verbunden und deren Lösung erfordert neue Bedienungskonzepte.



Abbildung 3.5: Der Metapher eines Butlers [Dim04] soll in Ambient Intelligence für Social Interaction von adaptiven Umgebungen sorgen (Bild: inHaus).

Die letztgenannten Anforderungen an eine intuitive Mensch-Umgebungs-Interaktion bekräftigen unsere Anforderungen an einen hybriden Ansatz, in dem der Nutzer die Möglichkeit einer expliziten Interaktion beibehält. Diese Anforderung wird im Kapitel 3.2.4 detailliert beschrieben und begründet. Des Weiteren unterstützt Dimitrova mit ihren Argumenten unsere Anforderung an den Einsatz von mobilen Geräten für eine assistenzbasierte Interaktion.

Ein weiteres wichtiges Argument für den zusätzlichen Einsatz von expliziter Assistenz anstelle einer rein impliziten Interaktion sind die derzeit noch vorhandenen großen Herausforderungen, welche an den Intelligenzgrad von *virtuellen Butlern* gestellt werden. Die Umgebung muss den Nutzer und sein soziales Umfeld über sehr

große Zeiträume beobachten und daraus lernen. Das Lernen bezieht sich darauf, unter *welchen Situationen* der Nutzer überhaupt eine Pro-Aktivität akzeptiert und *was* genau automatisiert werden muss. Wenn das adaptive System hierbei Fehlerkennungen, Fehlentscheidungen oder Fehlausführungen aufweist, wird dies den Anwender frustrieren. Dimtrova (2004) sieht die Herausforderungen an Verfahren für lernende Systeme, welche verteilt in einem Netzwerk von sich dynamisch entwickelnden Diensten und Geräten ausgeführt werden sollen. Des Weiteren ist es vor allem durch die dynamische Natur von AmI-Umgebungen unklar, wo die Intelligenz residiert.

Eine explizite Interaktion kann auch über sprach- und gestenbasierte Interaktion erfolgen (vgl. Kirste et al., 2001 [KHS01b]). Dimitrova schildert die großen technischen Probleme, denen sich diese Art von natürlichen multimodalen Interaktionssystemen gegenüber sehen. Derzeit fehlt es an robusten Algorithmen für Sprachverarbeitung, Sprachsynthese, speech recognition und sprachbasierte Dialog-Systeme, die unter dynamischen Umständen in AmI-Umgebungen eingesetzt werden könnten. Ähnliches gilt für Video- und Computer-Vision. Hierbei liegen die Hauptherausforderungen im Bereich von Tracking, Objekterkennung, Image Segmentation, Collaborative Filtering, *Recommendation*-Techniken, im Browsen von Daten sowie in der Ermittlung von Media-Kontext aus rohen Daten. Derzeit befassen sich viele Gruppen mit diesen Themen. Als Beispiele können die Projekte EMBASSI [HK02], SmartKom und Sikowo [FOR04a] genannt werden.

3.2.2 Intuitive Geräteauswahl in unbekannten Umgebungen

Ein kognitives Modell für Mensch-Umgebungs-Interaktion ist das Task-Action-Mapping-Modell von Sasse (1997). Dieses Modell ist insbesondere im Kontext der Auswahl von Geräten zwecks Interaktion relevant. Wie bereits im Rahmen des Klassifikationsmodells in Kapitel 2.1.3 beschrieben wurde, sind Geräteauswahl und Strategiebildung wichtige Dimension der Mensch-Umgebungs-Interaktion.

Das *Task-Action-Mapping* erlaubt die Benutzung eines Systems ohne detailliertes Wissen darüber (vgl. Sasse, 1997 [Sas97]). Demnach muss der Benutzer eines Systems den durchzuführenden *Task* (z. B. Präsentation starten) in Geräte-Aktionen (z. B. Projektor finden und auswählen, Datei kopieren, Datei starten, Vollbildschirm-Modus über F9-Taste einstellen) übersetzen. Dieses Überführen der Struktur einer Aufgabe in die zur Zielerreichung notwendigen Handlungen wird „Task-Action-Mapping“ genannt [Sen04]. Beispielsweise muss der Nutzer für die Präsentation seiner Folien zunächst seine Folien auf den Projektor(rechner) übertragen und die Präsentation dort starten. Des Weiteren möchte er eventuell die Beleuchtung des Raumes anpassen. Nach dem Task-Action-Mapping muss nun der Nutzer eine direkte Zuordnung von technischen Aktionen zu seinen Aufgaben finden. Dazu kann er z. B. einen Lichtschalter, einen Netzwerk-Browser sowie den Desktop und die Maus benutzen, um die zuvor genannten Aufgaben durchzuführen. Hierzu muss der Nutzer aber nicht wissen, *wie* diese Datei auf den Projektor kopiert werden muss. Er muss nur wissen, welche Geräteaktionen für die Durchführung von welchen Benutzeraufgaben benötigt werden.

Betrachtet man nun das Problem der Umgebungskomplexität näher, stellt man fest, dass ein wichtiges Interaktionsproblem mit dem Task-Action-Mapping-Prozess des Nutzers zusammenhängt. Meistens erlauben die existierenden Interaktionssysteme nicht eine positive Beeinflussung von mentalen Modellen des Anwenders im Sinne der Unterstützung von Task-Action-Mapping-Prozessen nach Sasse (2007) [Sas97]. Der Nutzer kann auf Anhieb nicht erkennen, welche Aktionen verfügbar sind oder was er machen muss, um seine Tasks durchzuführen.

Im Sinne der manuellen Geräteauswahl muss der Nutzer bei der Interaktion mit intelligenten Umgebungen die benötigten Geräte und Services erkennen und selektieren können (vgl. Ailisto und Strömmer et al., 2006 [AIPV+06]). Die Analyse der bereits existierenden Forschung geht mit der obigen Forderung einher, da sich eine signifikante Anzahl von Arbeiten mit intuitiver Geräteauswahl befassen.

Die „prevalent visions“ von Ambient Intelligence sehen eine natürliche Interaktion zwischen Nutzer, Funktionen und Diensten vor, welche in der Umgebung eingebettet sind, oder durch mobile Endgeräte verfügbar werden. Die Probleme bei der Realisierung von AmI-Szenarien treten bei einer „natural mapping between the physical objects and their virtual counterparts“ auf (vgl. Ailisto und Strömmer et al., 2006 [AIPV+06]). Der emergente Fortschritt von mobilen Geräten eröffnet neue Möglichkeiten zur Implementierung von intuitiven Bedienungskonzepten, um das geschilderte Problem von natürlichem und intuitivem Task-Action-Mapping zu lösen.

Ailisto und Strömmer et al. (2006) haben hierzu neuartige Metaphern entwickelt, die auf der Metapher der physischen Selektion basiert. Sie zeigen durch eine ausführliche Usability-Studie, dass physikalische Selektion viel effizienter ist als herkömmliche WIMP-basierte Metaphern. Insbesondere haben Ailisto und Strömmer die Metaphern *TouchMe*, *ScanMe* und *PointMe* entwickelt (vgl. [AIPV+06], S. 337).

Eine andere Metapher für die Geräteauswahl wurde von Nazari (2004) [Naz04, NHK04] präsentiert, die auf einer räumlichen Selektion gegründet ist. Hierbei kann der Nutzer ein Gerät anhand von dessen Ort und Form identifizieren und dessen Counterpart durch die Metapher *PointMe* und physikalisches Drag & Drop selektieren. Eine ähnliche Metapher ist das *Point & Shoot*, welche von [BRSB05] entwickelt wurde. Dabei kann der Anwender ein mobiles Telefon und Marker-basierte Trackings benutzen, um reale Objekte physikalisch durch „pointing“ auszuwählen, und mit dem virtuellen Counterpart des ausgewählten realen Objektes mittels des mobilen Endgerätes zu interagieren (vgl. Abb. 3.6). Einen guten Überblick über existierende Metaphern liefern Schmidt und Butz et al. (2005) in [SKB05].

Rekimoto (2001) [KRA01] entwickelte das InfoPoint-System, welches die manuelle Auswahl von Geräten und Medien durch ähnliche Metaphern wie *PointMe* und *ScanMe* realisiert. Das Bedienungskonzept von InfoPoint verfolgt den Ansatz von physikalischer Selektion von Objekten und kombiniert dabei die Metaphern *ScanMe* und Drag & Drop. Auch hierbei wird die Interaktion von einem expliziten mobilen Assistenten ermöglicht, ähnlich wie es auch von Ailisto und Strömmer (2006) [AIPV+06] verfolgt wird.

InfoPoint ist ein mobiles Gerät, welches die Interaktion über mehrere vernetzte



Abbildung 3.6: Point & Shoot: (Links) Das Objekt wird mit Hilfe des Telefondisplays anvisiert. (Mitte) Der Joystick wird gedrückt, die visuellen Codes erscheinen für kurze Zeit. (Rechts) Das Objekt wurde erfolgreich ausgewählt. [BRSB05]

Geräte hinaus erlaubt. Beispielsweise kann der Nutzer über ein Drag & Drop-ähnliche Metapher Daten zwischen einem Posterausdruck und einem Bildschirm austauschen. Dazu scannt InfoPoint einen visuellen Tag, der auf dem Poster ausgedruckt ist, und „wirft“ es auf einen Bildschirm. So kann dann ein Webservice auf dem Bildschirm erweiterte Informationen zu dem Poster aus dem Internet herunterladen und anzeigen.

Aus den obigen Diskussionen leiten wir die Anforderung ab, dass neuartige Metaphern für eine manuelle Auswahl von Geräten und Diensten in adaptiven Umgebungen benötigt werden. Des Weiteren muss ein intuitives Zuordnen von Funktionen und Diensten zu Geräten möglich sein. Dies wurde im Kapitel 1.1.5 als Problem der manuellen Selektion von Geräten in unbekannten Umgebungen ohne Vorhandensein von technischem Infrastruktur-Wissen wie z. B. Geräteadressen erläutert.

Eine weitere wichtige Anforderung ist die Möglichkeit, sowohl zielbasiert als auch funktionsorientiert mit der Umgebung interagieren zu können. Grund hierfür sind die unterschiedlichen mentalen Modelle der Benutzer (vgl. Sengpiel, 2004 [Sen04]). Sind die Geräte in einem Raum sichtbar, so entwickeln die Benutzer mentale Modelle, in denen einzelne Geräte als solche vorkommen. Folglich denken die Benutzer in Funktionsräumen bzw. „device spaces“ (vgl. [Sen04, NWzK03]). Dabei brauchen die Benutzer für ihr Task-Action-Mapping die Möglichkeit, einzelne Geräte selektieren und entsprechende Funktionen bzw. Dienste ansprechen zu können.

Im Gegensatz dazu fehlen bei den Anwendern die einzelnen Geräte in ihren mentalen Modellen, wenn die Geräte vollständig in den Hintergrund treten (vgl. Abb. 3.2), denn sie denken dann in Zielräumen. Um eine Aufgabe durchzuführen, äußern die Nutzer Ziele, die dann von der Umgebung insgesamt erbracht werden müssen. Dabei wählt die Umgebung die notwendigen Geräte selbst aus, welche die Funktionalität erbringen sollen. Demnach steht die Anforderung, neben einer funktionsbasierten Interaktion mit einzelnen Geräten auch eine zielbasierte Interaktion mit Geräteverbünden anzubieten. Die Systemrepräsentation („system image“) muss dem Nutzer hierbei auf Anhieb erkennen lassen, in welchem Zustand sich die Umgebung befindet und welche Ziele allgemein erreichbar sind. Mit anderen Worten: Auch hier muss *Affordances* und *Visibility* Rechnung getragen werden (vgl. Norman, 1998 [Don88]).

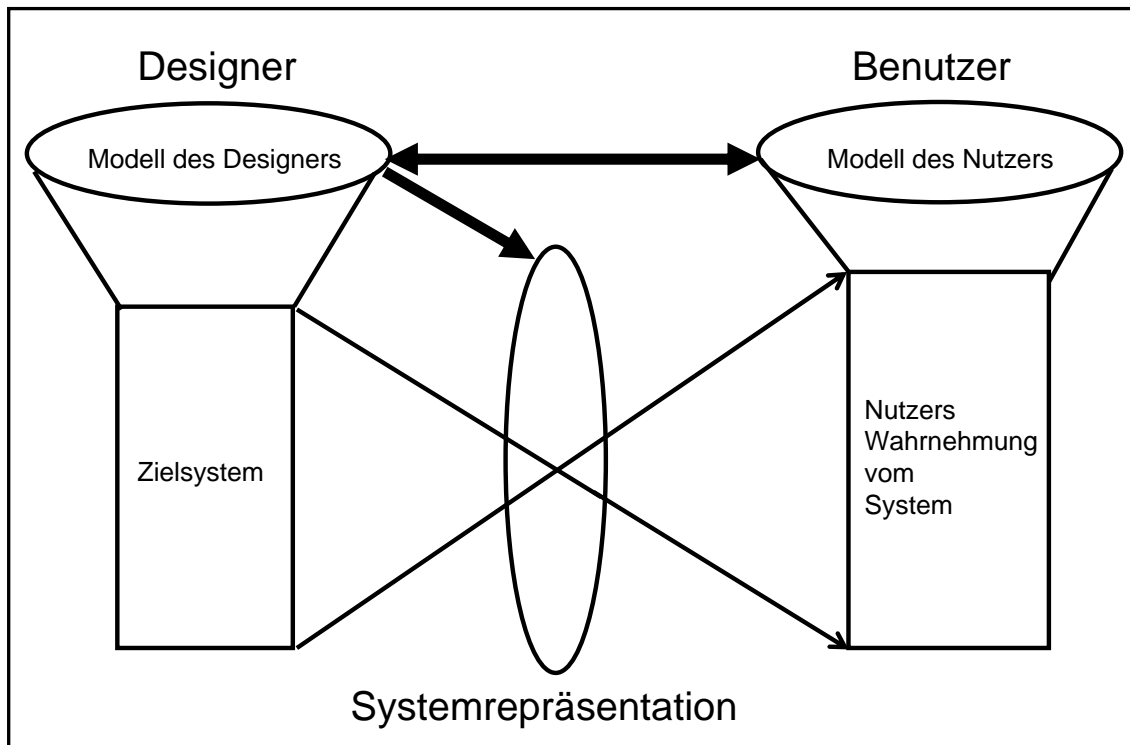


Abbildung 3.7: Nutzer bilden ihr mentales Modell über das System Image, welches der Abbildung des mentalen Modells des Designers entspricht (Bild: [Sen04]).

Die Entscheidung welche von existierenden Metaphern (ScanMe, PointMe, TouchMe, Drag & Drop, Point & Shoot) intuitiv ist, kann nicht allgemeingültig für alle Domänen beantwortet werden. Dies hängt stark von der auszuführenden Aktivität des Nutzers und vom Interaktionskontext ab. Deshalb wird im Rahmen dieser Arbeit die Domäne von Multimedia-Arbeitsumgebungen analysiert, um die Nutzeraufgaben und den Interaktionskontext weiter zu erforschen. Damit soll die Entwicklung eines Bedienungskonzepts und die Erfüllung der in diesem Kapitel erhobenen Anforderungen unterstützt werden.

3.2.3 Leichte Erkundung der Umgebung und des Funktionsumfangs sowie nachvollziehbare Systemreaktionen und Nutzungsweise

In dem von Norman (1983) entwickelte Modell für Human-Computer-Interaction wird beschrieben, wann ein Bedienungskonzept intuitiv ist. Norman nennt das zu beschreibende System t und das objektiv konstruierbare Modell desselben „conceptual model of the system“ $C(t)$. Dabei ist „target“ alles, was dem Benutzer physisch verfügbar. So zählt er zu diesem „system image“ bzw. Präsentationsmodell des Systems beispielsweise den Projektor, alle Interaktionsgeräte, Dokumentationen, Hilfesysteme, Handbücher etc. [Sen04]. Das mentale Modell des Benutzers nennt er „mental model“ $M(t)$. Dabei wird das mentale Modell des Benutzers von der Konzeptualisierung des Wissenschaftlers $C(M(t))$ unterschieden [Nor83, Sen04].

Ziel eines intuitiven Bedienungskonzepts und eines „System Images“ (Systemrepräsentation) ist es, dem Benutzer exakt das konzeptuelle Modell des Entwicklers $C(t) \Rightarrow M(t)$ zu vermitteln. Dies erfordert die Berücksichtigung von Affordances &

Visibility eines Systems. Dabei wird das mentale Modell des Benutzers in der Interaktion mit dem System ständig angepasst (vgl. Sasse, 1997 [Sas97]). Stimmt das $M(t)$ nicht hinreichend mit der tatsächlichen Funktionsweise der Maschine überein, so treten Probleme bei ihrer Benutzung auf [Sen04]. Der Designer konstruiert ein „Design Model“ des Systems, welches durch das „System Image“ kommuniziert wird. Die Abbildung 3.7 verdeutlicht diesen Zusammenhang [Sen04].

Der Nutzen eines korrekten mentalen Modells zeigt sich besonders, wenn man nicht auf bewährte Handlungen zurückgreifen kann. Dabei soll ein adäquates mentales Modell von einem System dem Nutzer erklären, wie ein System zu nutzen hat. Dies kann vor allem vom Nutzen sein, wenn der Nutzer zum ersten Mal in einer Umgebung sich befindet und damit interagieren möchte. Damit wird erneut die Anforderung an das Vorhandensein einer adäquaten *System Image* aufgestellt. Durch eine „fühlbare“ Systempräsentation sollen AmI-Umgebungen für den Nutzer zugänglich und verständlich gemacht werden. Darüber muss der Nutzer durch „Affordances“ zum Einen das System erkunden können. Solch eine Erkundung soll vor allem bei Task-Action-Mapping behilflich sein, damit der Nutzer die für sie/ihn relevanten Geräte und Dienste in einer unbekannten Umgebung identifizieren kann. Zum anderen soll der Benutzer durch ein verständliches Darstellungsmodell das System durchschauen können. Dies ist ein weiteres wichtiges Merkmal der Mensch-Umgebungs-Schnittstelle, welches entscheidend zum Aufbau eines korrekten mentalen Modells beiträgt. Norman bezeichnet dieses als „Visibility“ (vgl. Norman (1988) [Don88]). Demnach verfügt ein Gerät über die Eigenschaft der Visibility, wenn auf dem ersten Blick man sowohl den Systemzustand als auch die zur Verfügung stehenden (alternativen) Aktionen erkennen kann, die man zum Erreichen eines bestimmten Tasks aktivieren müsste.

Ein Problem starker Automatisierung, wie sie beispielsweise in adaptiven Umgebungen anzutreffen wäre, ist, dass sie häufig dazu neigt, die „Visibility“ eines Systems zu verringern (vgl. Wandke et al [Sen04, NWzK03]).

Aus den oben geführten Diskussionen leiten wir die Anforderung ab, dass für eine intuitive Mensch-Umgebungs-Interaktion zwei Eigenschaften eines Bedienungskonzepts notwendig sind. Zum einen muss durch ein adäquates Darstellungsmodell *Affordances* und *Visibility* Rechnung getragen werden. Zum anderen soll durch die Möglichkeit einer expliziten Interaktion die Nutzerakzeptanz für AmI-Umgebungen erhöht werden.

Durch eine Koexistenz von expliziter Interaktion und adaptiver Umgebung soll den zuvor erläuterten Problemen von Überautomatisierung und fehlender Benutzerkontrolle über solchen adaptiven Umgebungen gegen gesteuert werden (vgl. Dimitrova, 2004 [Dim04], S. 16). Diese wurden ausführlich in Kapitel 3.2.1 diskutiert.

3.2.4 Koexistenz zwischen Steuerungsassistentz und adaptiver Umgebung

In den letzten Kapiteln wurde ausführlich die Anforderung abgeleitet, dass die Benutzer stets die Kontrolle über ein intelligentes System haben sollten (vgl. [AE06], S. 369).

In vielen Projekten haben Benutzer angemerkt, dass sie in der Lage sein möchten, bei Bedarf die Kontrolle auch vom AmI System zurückbekommen zu können. Dieser Punkt ist ein bestimmender Faktor bei Designentscheidungen bzw. dafür, dass semiautomatische Systeme den vollautomatischen vorgezogen werden (vgl. Van de Sluis et al., 2001 in [AE06]).

Eine weitere Begründung für das Bevorzugen eines hybriden Ansatzes gegenüber einer rein impliziten Interaktion besteht einfach darin, dass die Algorithmen und Technologien zur Realisierung von vollautomatischen, implizit handelnden AmI-Umgebungen derzeit nicht ausgereift sind. In der Folge ist eine effektive, robuste und sinnvolle Situationserkennung und Proaktivität nicht gewährleistet [LPK⁺07, MJK⁺05, Dim04]. Das Vertrauen des Nutzers in die intelligente Umgebung sowie seine Bereitschaft, die Technologie zu akzeptieren, sinken, wenn keine zusätzliche explizite Interaktion gegeben ist.

In den Kapiteln 3.2.1 und 3.2.2 wurden die Anforderungen abgeleitet, dass persönliche, mobile Assistenzsysteme neben adaptiven Umgebungen koexistieren sollen. Soll nun der Nutzer in einer adaptiven Umgebung explizit interagieren, sind Interaktionskonflikte und gegensätzliche Aktionen die Folge. So kann beispielsweise die Umgebung entscheiden, die Klimaanlage einzuschalten, während der Nutzer zuvor die Heizung eingeschaltet hat, weil er beispielsweise erkältet ist. So eine Gegensätzlichkeit auf semantischer Ebene, aber auch die einfache konkurrierende Steuerung der Umgebung, müssen koordiniert werden. Deshalb muss ein Bedienungskonzept vorsehen, die explizite und implizite Interaktion zu synchronisieren. Daraus leiten wir die Anforderung ab, dass zur Vermeidung von Interaktionskonflikten entsprechende Koordinierungsmechanismen benötigt werden (vgl. Kapitel 2.1.1 und 3.2.4).

3.3 Technische Anforderungen

In diesem Abschnitt werden die technischen Anforderungen an die Mensch-Umgebungs-Interaktion behandelt. Sie ergeben sich aus den folgenden nicht-technischen Anforderungen der Mensch-Umgebungs-Interaktion, welche bereits in den vorigen Kapiteln behandelt wurden:

- Interaktion in dynamischen Umgebungen
- Notwendigkeit für adaptive Benutzungsschnittstelle
- Interaktion mit unbekannten Infrastrukturen
- Interaktion mit heterogenen Systemen
- Interaktion mit „unsichtbaren“ Geräten
- Zugriff auf verteilte Medien

Um eine Interaktion zu ermöglichen, welche diesen Anforderungen genügt, muss ein System besondere technische Anforderungen erfüllen. Diese sollen in den folgenden Abschnitten näher erläutert werden.

3.3.1 Plug & Play-Umgebung und Spontan-Zugriff auf Geräten

Wie in Kapitel 1.1 beschrieben, zeichnen sich AmI-Umgebungen durch eine hohe Anzahl von heterogenen, intelligenten Geräten aus. Die Informatisierung und Vernetzung von Alltagsgegenständen verwandelt unsere Umgebung in ein Netzwerk aus hunderten von Geräten. Viele dieser Geräte sind von „Natur aus“ nicht stationär. Sie werden durch ihre Nutzung bewegt oder durch den Nutzer getragen. Dadurch ändert sich das Netzwerk ständig. Geräte kommen spontan hinzu und verschwinden auch wieder oder werden ausgeschaltet, wenn sie nicht mehr benötigt werden. Gute Beispiel hierfür sind persönliche Geräte des Nutzers wie PDA, Mobiltelefon oder Kamera. Andere Beispiele sind tragbare Projektoren, mobile HiFi-Tische oder auch intelligente Stühle.

Möchte nun der Nutzer auf eine derartige Umgebung zugreifen, so werden besondere Anforderungen an die Interaktion gestellt. Eine wichtige Anforderung hierbei ist die Möglichkeit eines Spontan-Zugriffs auf neue Geräte. Der Anwender muss ein Gerät nutzen können, ohne dieses zuvor zu konfigurieren oder den Zugriff im Sinne einer Installation und Konfiguration vorzubereiten (vgl. [SRI00, Nak01]). Um den Nutzer nicht von seinen Aufgaben durch unnötige Konfigurationsaufgaben abzulenken, müssen Geräte im Sinne eines Plug & Play (vgl. Universal Plug and Play [UPn04b]) in unsere Umgebung integriert werden können. Nach einer architektonischen Integration muss eine unmittelbare Interaktion gewährleistet sein. Hierbei handelt es sich nicht um alle verfügbaren Geräte eines technischen Netzwerkes. Vielmehr geht es dabei um die Geräte, welche durch den Nutzer als Objekte seines aktuellen *Raumes* wahrgenommen werden oder die für aktuelle Nutzeraktivitäten benötigt werden.

3.3.2 Standardübergreifende Kommunikation

Die Heterogenität von Geräten bringt eine weitere Herausforderung mit sich. Die Interaktion in einer solchen Umgebung erfordert eine Kommunikation über eine Vielzahl von Protokollen und Standards. Beispielsweise werden für die Vernetzung von Hausautomatisierung in Europa meistens European Installation Bus eingesetzt, welche ein Two-Wired-Bus darstellen. Der Zugriff erfolgt über spezielle serielle Adapter. Für die Vernetzung von HiFi-Geräten im digitalen Haus wird jedoch das Internet-basierte Universal Plug and Play (UPnP) eingesetzt. Möchte nun der Nutzer beispielsweise den Zustand des Backofens in seinem TV-Gerät kontrollieren, so müssen zwei Geräte aus unterschiedlichen Netzwerken miteinander kombiniert werden. Diese standardübergreifende Kommunikation stellt eine wichtige Anforderung an die Mensch-Umgebungs-Schnittstelle dar.

3.3.3 Unterstützung kontextsensitiver Anpassung von mobilen Benutzungsschnittstellen

Eine weitere wichtige technische Anforderung leitet sich aus den Diskussionen über die Notwendigkeit von neuartigen Metaphern für eine manuelle Auswahl von Geräten und Diensten in adaptiven Umgebungen ab (vgl. Kapitel 3.2.2). Des Weiteren muss ein intuitives Zuordnen von Funktionen und Diensten zu Geräten möglich sein. Dies

wurde in Kapitel 1.1.5 als Problem der manuellen Selektion von Geräten in unbekannten Umgebungen ohne Vorhandensein von technischem Infrastruktur-Wissen, wie z.B. Geräteadressen erläutert. Möchte der Nutzer in adaptiven Umgebungen Geräte und Dienste über intuitive Interaktionsmetaphern auswählen, so muss die Interaktion folgenden technischen Anforderungen genügen:

Ortsabhängige „discovery“. Geräte und Dienste müssen dynamisch auffindbar und adressierbar sein. Im Sinne der manuellen Geräteauswahl muss der Nutzer bei der Interaktion mit intelligenten Umgebungen die benötigten Geräte und Services erkennen und selektieren können (vgl. Ailisto & Strömmer et al, 2006 [AIPV⁺06]).

Selbstbeschreibung Geräte und Dienste müssen bezüglich ihrer Facilities, Ort und Repräsentation auf Anfrage eine Beschreibung liefern.

Die Entwicklung von Ambient Intelligence wird *mobile device centric* sein (vgl. [AIPV⁺06] S. 333). Die persönlichen mobilen Geräte des Nutzers müssen ein Bewusstsein dafür entwickeln, wie die Umgebung zu nutzen ist. Daher wurde in Kapitel 3.2.1 die Anforderung begründet, dass das zu entwickelnde Bedienungskonzept eine explizite Interaktion mit Hilfe von persönlichen *mobilen* Assistenzen ermöglichen muss. Hieraus werden folgende technische Anforderungen abgeleitet:

- Nutzung von mobilen Endgeräten.
- Berücksichtigung von besonderen Gegebenheiten von mobilen Endgeräten bezüglich verfügbarer Interaktionselemente.
- Berücksichtigung von Einschränkungen bezüglich Energie, Speicher und Leistung.
- Berücksichtigung der derzeit heterogenen Architekturen und Betriebssysteme im Bereich von mobilen Endgeräten. Dies erfordert die Bereitstellung von entsprechenden Abstraktionsebenen.

Die kontextsensitive Adaptierung und Aktualisierung der Benutzungsschnittstelle erfordert einen einheitlichen Zugang zu Kontextdaten. Deshalb muss eine entsprechende Architektur die Kontextdaten für die Koordination der Interaktion sowie die Adaptierung der Benutzungsschnittstelle stets zugänglich machen.

3.3.4 Einheitlicher Zugriff auf verteilte Medien

Viele Nutzeraktivitäten erfordern den Zugriff auf Medien. Dabei sind die meisten Medien auf unterschiedlichen Geräten verteilt. So sind beispielsweise Fotos meistens auf der Kamera gespeichert und Dokumente befinden sich auf dem PC oder Notebook des Nutzers. Hinzu kommt, dass sich viele Medien auf nicht-persönlichen Geräten wie Smart BOARD, Sicherheitskamera oder TV befinden können. Dabei weisen diese Medien unterschiedliche Formate auf. Um eine intuitive Interaktion zu ermöglichen, muss ein einheitlicher Zugriff auf verteilte Medien ermöglicht werden.

3.4 Zusammenfassung der Anforderungen

Die in diesem Katalog beschriebenen Anforderungen, die von einem Interaktionssystem erfüllt werden müssen, leiten sich aus den Fragestellungen dieser Arbeit und den in Kapitel 1.1 diskutierten Problemen ab.

Entsprechend soll im nächsten Kapitel der Stand der Technik analysiert werden. Dabei stellen wir an dieser Stelle einen Anforderungskatalog vor, welcher eine Art von Kriterienkatalog darstellt. Dieser soll verwendet werden, um unterschiedliche Systeme miteinander zu vergleichen und deren Stärken und Schwächen hervorzuheben. Basierend auf dem aktuellen Stand der Technik soll ein Bedienungskonzept im Rahmen dieser Arbeit ausgearbeitet werden, welches die Schwächen existierender Systeme löst und die hier geschilderten Anforderungen erfüllt.

Erkundung von und Orientierung im Raum Das Bedienungskonzept soll die Planung und Steuerung von Handlungen unterstützen. Individuelle mentale Modelle können stärker verstehensorientiert oder eher handlungsorientiert sein (vgl. Dutke, 1994). Demnach soll ein Bedienungskonzept für AmI-Umgebungen sowohl durch Anschauen des *system image* bzw. Systempräsentation als auch durch explorative Steuerung der Umgebung die Bildung eines adäquaten mentalen Konzeptes erlauben. Die Systempräsentation bzw. *system image* soll die intelligente Umgebung derart repräsentieren, dass deren Funktionsumfang und Nutzungsweise durch verstehensorientiertes Vorgehen von Personen entdeckt werden können. Solch ein Design muss also der Aufforderung von Norman nach Affordances und Visibility nachgehen (vgl. Norman, 1983 [Nor83]).

Vermeidung von kognitiver Überlastung durch Bedienungsaufgaben Die Vielzahl der Geräte und die funktionale Komplexität soll keine kognitive Überlastung für den Nutzer darstellen. Insbesondere soll eine Orientierung im Raum durch intuitive „Object Discovery by human senses“ möglich sein.

Verbergung der Umgebungskomplexität Die Komplexität in Bezug auf Größe und Funktionalität wird stetig steigen. Deshalb werden neue Bedienungskonzepte im Sinne von einfacher Handhabung und „simplicity“ benötigt, damit der Benutzer sich nicht in der Fülle der Technik verliert [Dim04].

Bedienung von „unsichtbaren“ und kleinen Geräten Das neue Paradigma von Ambient Intelligence lässt die elektronischen Geräte im Hintergrund verschwinden. Außerdem bieten viele intelligente Alltagsgegenstände keine eigenen Schnittstellen wie Eingabe- und Ausgabemöglichkeiten mehr an. Wenn aber die Technologie in den Hintergrund unserer Umgebung integriert werden soll, dann werden neuartige „virtuelle Geräte“ benötigt, welche eine einfache, intelligente und sinnvolle Interaktion unterstützen [Dim04, Min01].

Persönliche mobile Assistenz Ailisto und Strömmer (2006) glauben, dass die Entwicklung von Ambient Intelligence *mobile device centric* sein wird. Anstelle der Umgebung ein Bewusstsein über den Nutzer und seine Bedürfnisse zu geben, sollen die persönlichen mobilen Geräte des Anwenders ein Bewusstsein dafür

entwickeln, wie die Umgebung zu nutzen ist (vgl. [AIPV⁺06], S. 333). Ein weiteres wichtiges Argument für eine explizite Interaktion mittels mobiler Assistenten statt einer rein impliziten Interaktion sind die derzeit noch vorhandenen großen Herausforderungen, welche an den Intelligenzgrad von *virtuellen Butlern* gestellt werden. Dimitrova (2004) identifiziert weitere wichtige technische Herausforderungen an Algorithmen für die Adaptivität einer Umgebung sowie an eine natürliche Gesten- und Sprachinteraktion. Weiter thematisiert sie das Problem von Überautomatisierung und Kontrollverlust in AmI-Umgebungen, welche durch den Einsatz von Butler-Metaphern entstehen können. Deshalb muss das zu entwickelnde Bedienungskonzept eine explizite Interaktion mittels persönlicher mobiler Assistenten ermöglichen.

Intuitive manuelle Geräteauswahl Neuartige Metaphern für eine manuelle Auswahl von Geräten und Diensten in adaptiven Umgebungen werden benötigt. Des Weiteren muss ein intuitives Zuordnen von Funktionen und Diensten zu Geräten möglich sein. Die Geräteauswahl soll durch neuartige Metaphern erfolgen, ohne Wissen über technische Eigenschaften wie Gerätenummer zu erfordern. Eine „Object Verification“ und „Menu Selection“ soll ebenfalls intuitiv erfolgen können (vgl. Ailisto und Strömmer et al., 2006).

Ganzheitliche Interaktion Es muss neben einer funktionsbasierten Interaktion mit einzelnen Geräten auch eine zielbasierte Interaktion mit Geräteverbünden möglich sein. Grund hierfür sind die unterschiedlichen mentalen Modelle der Benutzer (vgl. Sengpiel, 2004 [Sen04]). Einige Anwender denken in Funktionsräumen bzw. „device spaces“ und andere eher in Zielräumen (vgl. [Sen04, NWzK03]). Dabei benötigen sie für ihr Task-Action-Mapping die Möglichkeit, einzelne Geräte selektieren und entsprechende Funktionen bzw. Dienste ansprechen zu können.

Adaptivität und kontextabhängige Darstellung Die zeitliche und räumliche Darstellung von Informationsinhalten und Datenquellen kann zu einer kognitiven Überlastung führen [Fin06], hauptsächlich durch *split-attention effects* [Joh94, Joh99, N. 96]. Diese beziehen sich darauf, dass je näher die räumliche und zeitliche Anordnung von assoziierten Interaktionsentitäten ist, desto geringer wird auch die kognitive Leistung, welche bei der Durchführung einer expliziten Interaktion entsteht. Hierbei können Interaktionsentitäten beispielsweise Geräte und Medien, Funktionen und Ziele sowie Aufgaben und Nutzersituationen sein. Ein Split-Attention-Effekt kann beispielsweise auftreten, wenn sich ein Nutzer in einem Präsentationsszenario in einem komplexen Meetingraum befindet und dort seine Folien auf einem verfügbaren Ausgabegerät wiedergeben möchte. Um den Splitt-Attention-Effekt zu verringern, muss die Benutzungsschnittstelle auf den aktuellen Interaktions-, Aufgaben- und Medienkontext des Nutzers angepasst sein.

Visibility & Affordances Die Systemrepräsentation („system image“) muss den Nutzer auf Antriebe erkennen lassen, in welchem Zustand sich die Umgebung befindet und welche Funktionen und Ziele allgemein erreichbar sind. Mit anderen

Worten: Auch hier muss *Affordances* und *Visibility* Rechnung getragen werden (vgl. Norman, 1998 [Don88]).

Koexistenz und Koordinierung Ein Problem starker Automatisierung, wie sie beispielsweise in adaptiven Umgebungen anzutreffen wäre, ist die Verringerung der „visibility“ eines Systems (vgl. Wandke et al. [Sen04, NWzK03]). Hieraus leiten wir die Anforderung ab, dass für eine intuitive Mensch-Umgebungs-Interaktion zwei Eigenschaften eines Bedienungskonzepts notwendig sind. Zum einen muss durch ein adäquates Präsentationsmodell *Affordances* und *Visibility* Rechnung getragen werden. Zum anderen soll durch die Möglichkeit von expliziter Interaktion die Nutzerakzeptanz für AmI-Umgebungen erhöht werden. Die Koexistenz von expliziter Interaktion und adaptiver Umgebung soll den zuvor erläuterten Problemen von Überautomatisierung und fehlender Nutzerkontrolle über die Umgebung gegengesteuert werden (vgl. Dimitrova, 2004 [Dim04], S. 16). Diese Punkte wurden ausführlich in Kapitel 3.2.1 diskutiert.

Aufgabendomäne und Interaktionskontext

In den letzten Abschnitten wurden domain-unabhängige und nicht-funktionale Anforderungen analysiert, welche hauptsächlich über die *Intuitivität* von Mensch-Umgebungs-Interaktion motiviert sind. Dabei steht eine leichte Bedienung im Vordergrund. Doch eine intuitive Interaktion kann nur im Zusammenhang mit einem konkreten Aufgaben- und Interaktionskontext betrachtet werden. Um die Effektivität einer Interaktion zur gewährleisten, muss zunächst die Aufgabendomäne bestimmt werden. Weiter muss auch der Interaktionskontext bei der Entwicklung einer Mensch-Umgebungs-Schnittstelle berücksichtigt werden. Deshalb müssen zusätzlich zu den bereits in diesem Kapitel analysierten Anforderungen noch die folgenden Fragestellungen untersucht werden:

- Welche Aufgaben sollen unterstützt werden?
 - Was möchte der Nutzer mittels einer Mensch-Umgebungs-Schnittstelle bedienen bzw. was ist das „Interaktionsobjekt“?
 - Möchte der Anwender seine Dokumente und Medien verwalten oder seine Umgebung steuern?
 - Möchte der Nutzer einzelne Geräten handhaben oder den Raum als Ganzes ansprechen?
 - Welche Ziele und Funktionen werden vom Nutzer während der Interaktion angesprochen?
- In welcher Situation und unter welchem Interaktionskontext wird eine Aufgabe durchgeführt?
 - Welche Geräte kommen zum Einsatz?
 - Welche Medien sind mit dieser Aktivität verbunden?
 - Welche Typen von Geräten und Medien existieren?

- *Welche* Modalitäten sind geeignet bzw. werden durch den Nutzer bevorzugt?
- *Wo* im Raum führt der Nutzer eine bestimmte Aufgabe aus und *welche* Interaktionsalternativen sind bei der Durchführung einer Aufgabe verfügbar?

Um diese Punkte zu untersuchen, wird im Rahmen der nächsten Kapitel eine Beispieldomäne ausgewählt und näher betrachtet.

4 Stand der Technik bei Ambient Intelligence

Im ersten Abschnitt (siehe Kapitel 4.1) werden einige Beispiele für AmI-Projekte vorgestellt, welche die Visionen von Ambient Office und Ambient Home – aber auch die unterschiedlichen Auslegungen – aufzeigen sollen.

Die aufgeführten Beispiele sollen eine Art Muster in existierenden Architekturen erkennen lassen. Gewisse Bausteine sind in allen Projekten zu identifizieren. Dazu gehören Context-Management, multimodale Interaktion, intelligente Alltagsgegenstände in der Umgebung eingebetteter Sensoren zur Kontexterfassung sowie Allgegenwärtigkeit von Medien und Diensten [Shi06].

Im darauf folgenden Kapitel (siehe Kapitel 4.3) werden verwandte Arbeiten und der Stand der Technik im Bereich Context-Awareness, Kontextspezifikation und Kontextprovision vorgestellt.

4.1 Ambient Intelligence

Es existieren bereits einige Dutzend *intelligente Umgebungen*, die in Form von Musterwohnungen, Arbeitsstätten, Fabrikanlagen oder Autos die Vision von AmI und Ubicomp exemplarisch und aus der Sicht der jeweiligen Organisation demonstrieren.

In den folgenden Abschnitten sollen einige Projekte vorgestellt werden.

4.1.1 Microsoft EasyLiving

EasyLiving ist ein Projekt, das von Microsoft Research durchgeführt wurde. Ziel von EasyLiving ist die Entwicklung von Architektur und Technologie für intelligente Umgebungen, in denen verschiedene zusammenarbeitende Geräte Zugriff auf Informationen und Dienste bereitstellen. Weiter erlaubt EasyLiving (Room Controller) dem Benutzer, die physische Umgebung direkt zu manipulieren. Hierzu werden die in einem Raum befindlichen Geräte und deren räumliche Anordnung und Beziehungen untereinander visualisiert. Der Anwender kann ein bestimmtes Gerät (z. B. Lampe) auswählen - ohne den Netzwerknamen oder die Adresse zu kennen - und die angebotenen Dienste benutzen (z. B. ausschalten).

Anwendungsdomäne

EasyLiving fokussiert hauptsächlich auf den Bereich des *HomeOffice*. Das PC-basierte Arbeiten und Wohnen steht im Vordergrund, ohne die Technologie explizit im Hintergrund verschwinden zu lassen, wie es die Vision von AmI [DBS⁺01] vorsieht. Das folgende Szenario soll den Projektfokus aufzeigen. Dabei wird verdeutlicht, für



Abbildung 4.1: EasyLiving: Entkopplung des Benutzers vom Arbeitstisch (Bild: Microsoft Research).

welche Art von Anwendungen die unterliegenden Systemkomponenten (Middleware, Modelle, Interaktionskonzepte, Sensoren, Services etc.) konzipiert worden sind [BMK⁺00b]:

Tom picks up a remote control sitting on the coffee table and uses the trackball on it to request the room controls. They appear in a window on the wall screen (siehe Abb. 4.1), showing a small map of the room with the controllable lights. He uses this interface to dim the lights. Tom opens up his playlist and presses play. The music comes out of the room's large speaker system.

Sally enters the living room from the sliding doors to the outside and walks over to the PC. She has to manually log in, since she hasn't previously identified herself. She brings up a Word document that is an invitation to a shindig she and Tom are hosting. Wanting Tom's input, she asks him if she can use the large room display. He uses the remote to release control of the wall screen, and she uses the room's controls on her PC to move her session to that display.

Systemarchitektur

Aus der Sicht des Nutzers hat EasyLiving das Ziel, eine flexible Entkopplung des Benutzers vom PC-Desktop bei der Durchführung seiner PC-basierten Aktivitäten [BMK⁺00b] zu ermöglichen. Dazu trennt EasyLiving die Komponenten „hardware device control“, „internal computation logic“ und „user interface presentation“ explizit voneinander. Somit kann der Benutzer in einem intelligenten Raum an mehreren Orten und unter verschiedenen Situationen mit seinen Applikationen (und auch mit sonstigen „computer controllable devices“ wie Licht) interagieren. Dabei erlaubt die intelligente Umgebung dem Benutzer, geeignete Ein- und Ausgabegeräte zu benutzen (siehe in Abb. 4.1 dargestelltes Szenario).

EasyLiving's zentralistische Architektur (siehe Abb. 4.2) besteht aus den Komponenten *EasyLiving Geometric Model*, Perception, Devices (I/O, devices dedicated to providing computational capabilities), Service Description, sowie *InConcert Middleware*, welche diese Komponenten zu einem Gesamtsystem zusammenfasst [BMK⁺00b].

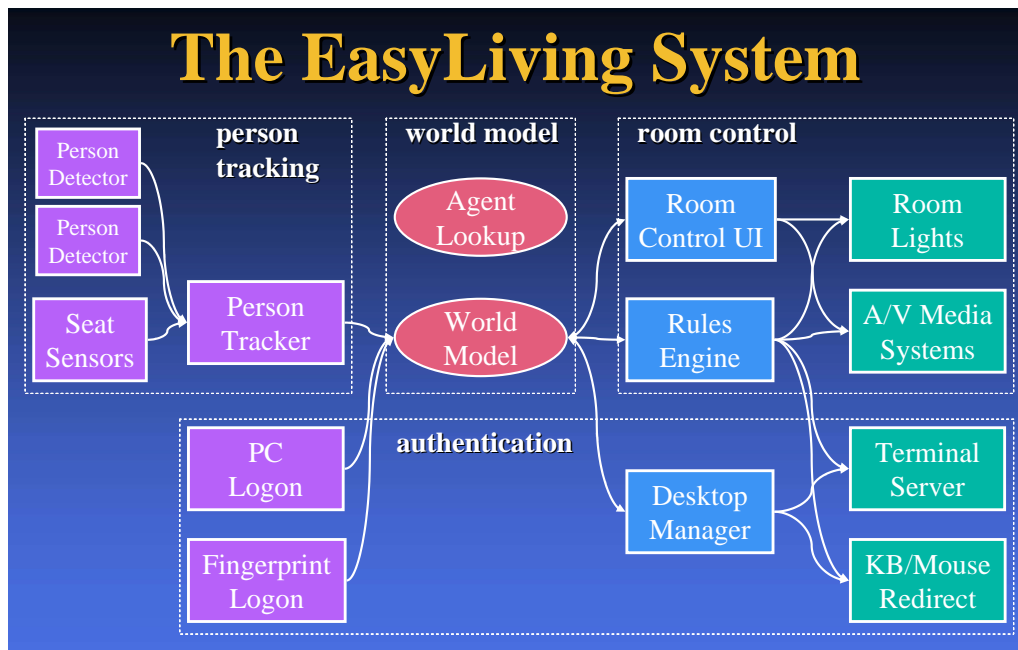


Abbildung 4.2: Die zentralistische EasyLiving System-Architektur (Bild: Microsoft Research)

EasyLiving beinhaltet sowohl explizite als auch implizite Bedienparadigmen. Zu der wesentlichsten passiven Interaktionsmethode gehört die automatische Steuerung von Wohnparametern (wie z. B. Licht) und von Multimediaanwendungen (z. B. folgt eine Session der dazugehörigen Person durch den Raum) mit Hilfe der Erfassung der Situation in den Wohnräumen mittels eines Mehrkamera-Bildverarbeitungssystems. Dadurch ist es machbar, die exakte Position einer oder mehrerer Personen im Raum zu bestimmen, um z. B. dem Media-Player-Agenten die nächstmöglichen Displays und Lautsprecher bekannt zu geben.

Ebenfalls ist es möglich die Mimik oder den emotionalen Zustand eines Anwenders festzustellen, wodurch EasyLiving mittels Polymodalität eine bessere situative Kontexterfassung erreicht.

Auch eine Aktivitätserkennung mit Hilfe des Kamerasystems ist ausführbar, wobei dies zusätzlich durch Drucksensoren im Teppich und in den Sitzmöbeln unterstützt wird.

Die expliziten Interaktionsmethoden setzen sich sowohl aus klassischen als auch aus neueren, intuitiven Eingabeparadigmen zusammen. EasyLiving beinhaltet einen Fingerabdruckscanner zur Identifizierung eines Anwenders, ohne den eine vollständige Nutzung der angebotenen Dienste nicht möglich ist. Die Interaktionsmethode mittels haptischer Geräte (Maus, Tastatur oder Eingabe an einem Touchscreen) sieht EasyLiving ebenfalls vor, wobei es auch ad hoc um neue Geräte z. B. mittels Bluetooth erweitert werden kann. Zu den intuitiven aktiven Eingabemethoden von EasyLiving gehört die Eingabe mittels Sprache, Gestik und Mimik, was unter dem Aspekt der Polymodalität zu einer sehr benutzerfreundlichen Mensch-Maschine-Interaktion führt.

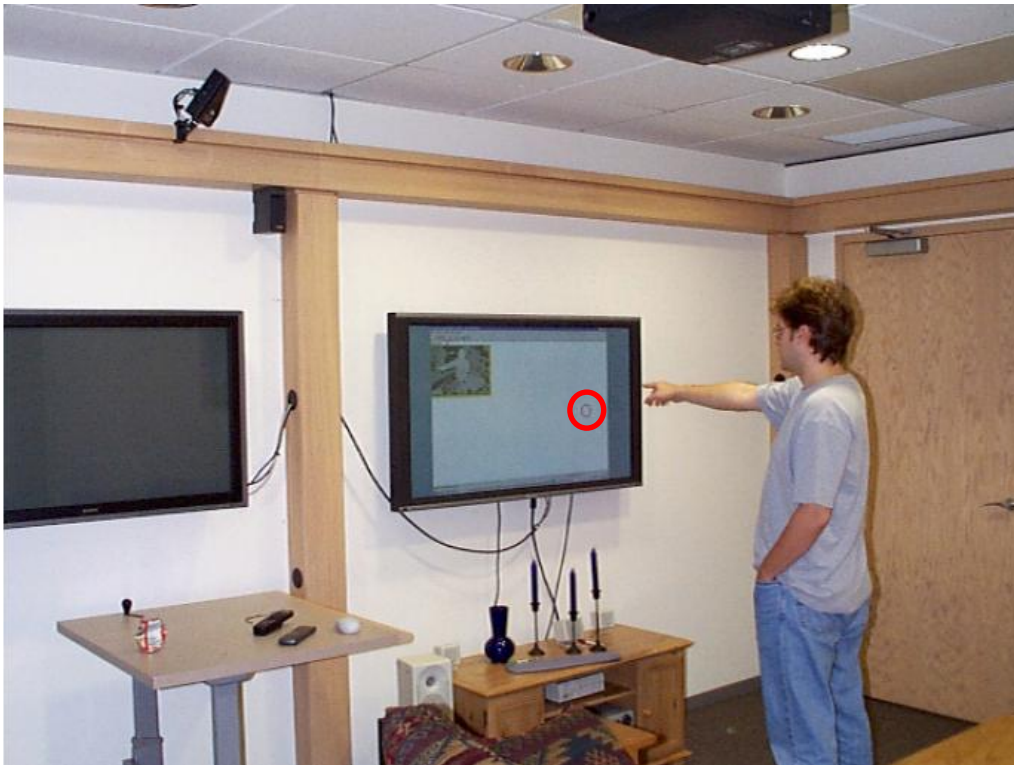


Abbildung 4.3: Beispiel für Multimodale Interaktion in EasyLiving (Bild: Microsoft Research).

Kontextmodell und Sensorik

Ein Schlüsselkonzept von EasyLiving ist das *EasyLiving Geometric Model* (siehe Abb. 4.4), welches die physische Anordnung und die relativen räumlichen Beziehungen von so genannten Entities (People, Places, Things, I/O Devices), die sich in einem (geschlossenen) Raum befinden, repräsentieren kann. Das EZLGM definiert Service-Bereiche für jedes Objekt. Benötigt der Benutzer einen bestimmten Service (Präsentation Service), so wird automatisch das Objekt (Monitor) ausgewählt, in dessen Service-Bereich sich der Benutzer befindet (z. B. der für Benutzer am besten sichtbare Monitor).

Dieses Kontextmodell wird ständig von Sensoren (*Sensing Devices*) mit Informationen über die Umgebung und die aktuelle Situation versorgt. Beispielsweise liefern Kameras Informationen über die Position von Personen und Objekten. Zur Verwaltung des Weltmodells sowie für die von Sensoren gelieferten Informationen werden so genannte Room Server eingesetzt. Dahinter steht ein MS-SQL-Server.

Zur Erfassung der Modellparameter (so genannte Entities), wie anwesende Nutzer, Identifikation von Nutzern, Aktivitätserkennung sowie Position von Personen und Objekten werden hauptsächlich kamerabasierte Systeme eingesetzt. Die Nutzer können sich im System auch über herkömmliche Eingabegeräte wie Tastatur oder Fingerabdruckererkennung anmelden. Des Weiteren wird ein mit Drucksensoren ausgestattetes Sofa eingesetzt, um sitzende Personen zu signalisieren.

Die entwickelten Prototypen unterstützen einen Raum (Zimmer), in dem bis zu drei Personen arbeiten können [BKMS00].